Secrétariat Général à l'Aviation Civile

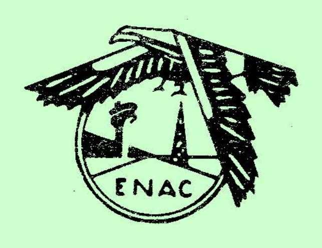
ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE

INFRASTRUCTURE

par

M. PASCAL

Tome 1 _ Texte



5ème Edition

Décembre 1970

INFRASTRUCTURE

par

M. PASCAL

Tome 1 _ Texte

Ce cours a été professé
aux promotions suivantes :
I.N.A. - I.T.N.A./E

5ème Edition **Décembre 1970**

INFRASTRUCTURE

TABLE DES MATIERES

NOTE.

Afin de faciliter la lecture de ce cours, toutes les figures ont été regroupées dans le volume 2.

AVANT-PROPOS

Les sujets traités dans les leçons qui vont suivre sont parfois réunis sous le titre général de "Conception des aérodromes". Ils comprennent l'étude des classifications d'aérodromes, des caractéristiques de l'aire de mouvement, des dégagements et des divers types d'avant-projet de plan de masse.

Le but final des leçons est de permettre aux élèves de procéder à une étude d'avant-projet de plan de masse et de discuter les dispositions des avant-projets dont ils auront à connaître.

Les études de bâtiments et de plan de masse proprement dit ainsi que la construction des aéroports, qui font l'objet d'autres cours, ne sont pas traités par celui-ci.

Nous ne saurions trop conseiller aux Ingénieurs à qui ce cours est destiné de se tenir au courant des développements ultérieurs des questions qui y sont traitées.

Une bibliographie donnée en Annexe et qu'il est recommandé de tenir à jour facilitera cette tâche.

1er Décembre 1970

M. PASCAL

CHAPITRE I

DEFINITIONS - GENERALITES

1,1 DEFINITIONS et TERMINOLOGIE

1,11 Définitions.

1,111 L'Annexe 14 (Aérodromes) à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale (5ème édition Mai 1969) donne de l'aérodrome la définition suivante :

"Surface définie sur terre ou sur l'eau (comprenant, éventuellement, bâtiments, installations et matériels) destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les manoeuvres des aéronefs".

Cette définition est très générale et s'applique, quelle que soit l'importance de l'aérodrome et le type d'appareils, avions terrestres, hydravions ou hélicoptères, auxquels il est destiné.

Toutefois, elle a l'inconvénient de ne pas mentionner les opérations effectuées entre l'atterrissage et le décollage.

1,112 Aussi, la définition suivante qui est celle donnée par l'article R.211-1 du code de l'aviation civile est-elle préférable :

"Est considéré comme aérodrome tout terrain ou plan d'eau spécialement aménagé pour l'atterrissage, le décollage et les manoeuvres d'aéronefs y compris les installations annexes qu'il peut comporter pour les besoins du trafic et le service des aéronefs".

Cette définition a une valeur à la fois technique et juridique. On notera, en particulier, que :

a) comme celle de l'annexe 14, donnée plus haut, elle s'applique, quelle que soit l'importance de l'aérodrome et le type d'aéronef utilisé;

b) elle suppose que le terrain ou plan d'eau a été "spécialement aménagé" pour recevoir des aéronefs. En particulier, ne sont pas considérés comme des aérodromes, les hélisurfaces, les avisurfaces et les bandes occasionnelles qui peuvent, sous certaines conditions, être utilisées respectivement par les

hélicoptères, les avions pratiquant l'"aviation de montagne" et les avions effectuant des traitements agricoles;

c) l'aérodrome n'est pas limité à la plateforme utilisée par les aéronefs mais il comprend, également, les installations annexes nécessaires à son exploitation.

1,12 Terminologie

1,121 Les aérodromes ainsi définis que ce soit dans l'annexe 14 ou dans le code de l'aviation civile, comprennent:

- les aérodromes terrestres,
- les hydrobases.

Lorsqu'il ne peut pas y avoir de confusion, le terme "aérodrome" est employé à la place de l'expression "aérodrome terrestre", dans un but de simplification.

1,122 Les aérodromes terrestres se subdivisent en aéroports et terrains d'aviation.

Un aéroport est un aérodrome sur lequel ont été prévues des installations à l'usage du public en vue de l'abri, de l'entretien ou de la réparation des aéronefs ainsi que pour la réception, l'embarquement et le débarquement des passagers, le chargement et le déchargement des marchandises.

Tout aérodrome terrestre qui ne peut pas être considéré comme un aéroport est un terrain d'aviation.

1,123 Il est bon de connaître également le sens de certains termes d'usage moins courant :

a) à l'époque où l'annexe 14 contenait des spécifications relatives aux aérodromes pour hydravions, elle désignait ces aérodromes par le terme "hydroaérodrome";

b) une hydrobase sans installations et, par conséquent, ne possédant qu'un équipement analogue à celui d'un terrain d'aviation est souvent appelée "plan d'eau";

c) aux notions retenues par l'O.A.C.I., on ajoute, en France, la notion de "base aérienne". Une base aérienne comprend un ou plusieurs aérodromes ainsi que des installations annexes nécessaires à leur fonctionnement telles que, par exemple, des entrepôts, une cité de logements, et, s'il s'agit d'une base militaire, des casernements ou des organes de défense.

1,2 DIFFERENTS TYPES d'AERODROMES

Il existe de nombreux types d'aérodromes.

Les différences qu'ils présentent entre eux proviennent des différences existant entre les performances des aéronefs qui les utilisent mais aussi de la nature même des opérations effectuées par ces appareils.

A ne considérer que ce dernier point, on peut distinguer, par exemple, en se limitant aux principales natures d'opérations, les aérodromes destinés aux usages énumérés ci-après :

Pour l'Aviation Civile :

- les transports commerciaux : passagers - fret - poste,
- l'aviation de tourisme,
- les écoles de pilotage;
- le travail aérien.

Pour l'Aviation Militaire :

- le stationnement qui peut lui-même se subdiviser en plusieurs catégories suivant la nature des unités installées : transport, combat, école, etc...
- les opérations militaires proprement dites,
- les escales.

Pour l'industrie aéronautique :

- les usines,
- les centres d'essais en vol.

Chaque nature d'utilisation de l'aérodrome nécessitera des installations qui lui sont propres.

Le plus souvent d'ailleurs, un même aérodrome est utilisé pour plusieurs types d'opérations; ceci permet des économies importantes dans les dépenses de construction, d'entretien et d'exploitation.

Nous limiterons ce cours aux aérodromes utilisés par l'Aviation Civile.

Parmi eux, les plus importants sont les aérodromes commerciaux.

Un aérodrome commercial est essentiellement un point de contact entre deux modes de transport: le transport aérien d'une part, et un mode de transport terrestre, d'autre part, ce dernier étant, le plus souvent, le transport routier.

Cette idée ne doit jamais être perdue de vue, car, en définitive, l'efficacité de l'aérodrome, la qualité du service rendu par lui, résultera des conditions dans lesquelles les passagers ou les marchandises seront transbordés de l'avion dans l'automobile, le car, le train ou le camion, et réciproquement.

L'aviation commerciale utilise aussi certains aérodromes comme escale technique. Il est toutefois exceptionnel que ce rôle ne soit pas combiné avec un service commercial plus ou moins important.

1,3 ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AERODROME

Pour répondre à son objet, un aérodrome doit comprendre :

a) une aire de mouvement, sur laquelle s'effectuent tous les mouvements des appareils,

b) des installations.

1,31 L'aire de mouvement elle-même comprend plusieurs parties.

Sur un aérodrome terrestre, elle comprendra :

- l'aire d'atterrissage destinée aux opérations d'atterrissage et de décollage proprement dites; elle est généralement constituée par des pistes ou bandes d'envol;

- les voies de circulation utilisées pour la circulation des appareils entre l'atterrissage et le décollage;

- les aires de stationnement où s'effectuent les opérations d'embarquement et de débarquement des passagers, chargement et déchargement des marchandises, ravitaillement en carburant, entretien et stationnement des appareils.

On réserve le nom d'aire de manoeuvre à la partie de l'aire de mouvement constituée par l'aire d'atterrissage et les voies de circulation.

Sur une hydrobase, la distinction entre les diverses parties de l'aire de mouvement est moins nette mais on trouvera néanmoins sur le plan d'eau utilisé :

- une aire d'amerrissage, souvent constituée par un ou plusieurs chenaux;
- des chenaux de circulation souvent confondus avec les chenaux d'amerrissage;
- une zone de mouillage où stationnent les hydravions.

1,32 Les <u>installations</u> sont très diverses, mais peuvent être classées dans différents groupes, suivant les fonctions auxquelles elles sont destinées.

On peut ainsi distinguer, sur un aérodrome terrestre:

- les installations d'exploitation technique : bloc technique (ou bloc commandement), tour de contrôle, sécurité incendie, garages à véhicules, etc...;
- les installations commerciales : aérogare, restaurant, gare de fret, hangars d'abri;
- les installations d'entretien, parfois appelées "installations industrielles": hangars - ateliers, magasins;
- les services généraux : distribution de carburants, électricité, distribution d'eau, éventuellement d'air comprimé,etc...

Un même bâtiment groupe parfois des installations de caractères différents mais ceci ne doit pas faire oublier les fonctions différentes auxquelles chaque partie du bâtiment est destinée.

Sur une hydrobase on trouvera, en outre, des installations destinées à l'accostage ou à l'entretien des hydravions, telles que darses, slips, formes de radoub, docks flottants.

1,33 Les conditions dans lesquelles s'effectuent l'atterrissage, la circulation au sol et le décollage des appareils nécessitent, pour que ces différents mouvements soient exécutés avec toute la sécurité désirable, que l'espace soit dégagé de tout obstacle sur une certaine largeur et au-dessus d'une certaine hauteur, de part et d'autre de la trajectoire suivie par ces appareils; ceci entraîne à définir des <u>dégagements</u> aussi bien sur l'aire de mouvement qu'à l'extérieur de celle-ci. Ces derniers dégagements constituent, en quelque sorte, un prolongement de l'aire d'atterrissage dans l'espace aérien, au-dessus des propriétés voisines de l'aérodrome.

CHAPITRE II

CLASSIFICATIONS

Il est impossible de faire une description détaillée des divers types d'aérodromes ou de formuler, avec quelque précision, des règles relatives à leurs caractéristiques sans utiliser une classification. C'est pourquoi nous plaçons à l'origine de ce cours l'étude des classifications. Celles-ci peuvent être considérées de deux points de vue nettement distincts qui conduisent à l'élaboration soit d'une classification descriptive, soit d'une classification fonctionnelle.

2,1 CLASSIFICATIONS DESCRIPTIVES

Exemple: SYSTEME D'IDENTIFICATION DE L'O.A.C.I.

Une classification des aérodromes peut être considérée simplement comme un moyen de formuler plus facilement un certain nombre de règles ou de recommandations relatives aux aérodromes.

C'est une classification descriptive. Un exemple d'une telle classification est donné par le "système d'identification des caractéristiques d'aérodromes" de l'OACI qui repose sur les principes suivants :

2,11 Aérodromes terrestres

On attribue, à chaque piste, une lettre d'identification en fonction de sa longueur de base (voir paragraphe 3,113.33 ci-après), suivant les indications du tableau ci-après.

Lettre d'identification	Longueur de base de la piste
A	2.100m et plus
B	de 1.500m inclus à 2.100m exclus
C	de 900m inclus à 1.500m exclus
D	de 750m inclus à 900m exclus
E	de 600m inclus à 750m exclus

C'est ainsi qu'une piste dont la longueur de base est de 2.000m sera une piste B.

On ne considère pas les pistes ayant une longueur de base inférieure à 600m, de telles pistes n'étant pas utilisées actuellement par l'aviation internationale.

Les limites des longueurs de base correspondant à chaque lettre d'identification ont été choisies de telle sorte que les spécifications relatives aux caractéristiques physiques des pistes soient les mêmes pour toutes les pistes ayant une même lettre d'identification.

On peut utiliser un tel système d'identification pour choisir la lettre d'identification d'une piste destinée à recevoir des appareils de types et performances donnés mais ce système d'identification n'établit, par lui-même, aucune relation entre les caractéristiques de la piste et les fonctions auxquelles elle est destinée.

Lorsque la lettre d'identification de la piste aura été choisie, les caractéristiques physiques de celle-ci seront définies en fonction de cette lettre d'identification, sans référence aux fonctions prévues pour l'aérodrome (nature du trafic ou place dans un réseau de routes aériennes).

C'est pourquoi nous donnons à cette nature de classification le qualificatif de "descriptive". Par exemple, lorsque l'on dira que la largeur des voies de circulation d'une piste C doit être de 15m au minimum, cela signifiera simplement que, si la longueur de base de cette piste est au moins égale à 900m, mais inférieure à 1.500m, la largeur des voies de circulation qui la desservent doit être au moins égale à 15 mètres.

2,12 Hydroaérodromes

L'édition actuelle de l'Annexe 14 ne comporte pas de système d'identification des hydroaérodromes (ou hydrobases).

Toutefois, à l'origine, l'.OA.C.I. avait établi un système de référence des hydroaérodromes comportant une lettre d'identification, fonction de la longueur de base du chenal, et un indice d'identification, fonction de la profondeur de ce chenal.

Ces lettres et indices étaient les suivants.

Lettre d'identification	Longueur de base du chenal
A	4.500m et plus
B	de 3.000m inclus à 4.500m exclus
C	de 2.000m inclus à 3.000m exclus

Indice d'identification	Profondeur du chenal
1	4m50 et plus
2	de 3m70 inclus à 4m50 exclus
3	de 2m40 inclus à 3m70 exclus

A l'origine également, le système de référence des aérodromes terrestres reposait sur deux paramètres : la longueur de base de la piste et sa force portante (ou résistance). Ce second paramètre a été abandonné lorsque l'on s'est aperçu, après achèvement de la rédaction de l'Annexe 14, qu'aucune caractéristique physique d'une piste n'était fonction de sa force portante. Autrement dit, parmi les deux paramètres considérés a priori (longueur et force portante) seul le premier était utile à l'expression des règles relatives aux caractéristiques physiques; il était donc logique d'abandonner le second.

Quant au système de référence des hydroaérodromes, il n'a pas été maintenu à partir de la quatrième édition de l'Annexe 14 (août 1964), sans doute en raison de la faible utilisation actuelle d'hydravions par l'aviation civile.

2,2 CLASSIFICATIONS FONCTIONNELLES.

Exemples : CLASSIFICATION DES ETATS-UNIS et CLASSIFICATION FRANCAISE.

2,21 Une classification fonctionnelle est une classification reposant sur la ou les fonctions auxquelles l'aé-

rodrome est destiné. Comme nous le verrons, elle conduit à établir une relation entre les caractéristiques de chaque classe et le matériel aérien utilisé.

Des fonctions différentes peuvent être considérées pour servir de base à l'établissement d'une classification.

2,22 C'est ainsi, par exemple, qu'aux <u>Etats-Unis</u>, où le transport aérien est réparti entre compagnies internationales, compagnies principales intérieures et compagnies locales, on distingue les catégories suivantes d'aérodromes terrestres :

<u>Intercontinentaux</u> - Aéroports destinés à desservir les vols intercontinentaux, transocéaniques ou transcontinentaux, comportant les plus longues étapes.

<u>Continentaux</u> - Aéroports destinés à desservir les longs vols sans escale, à l'exclusion des vols reliant la côte Atlantique à la côte Pacifique, normalement entièrement dans les limites des Etats-Unis. Ces Aéroports desservent les vols sans escale, jusqu'à une distance de 2.000 miles (soit environ 3.200 Km).

<u>Principaux</u> - Aéroports destinés à desservir les lignes aériennes principales, pour leurs étapes de longueur moyenne, n'excédant pas normalement 1.000 miles (soit environ 1.600km).

<u>Locaux</u> - Aéroports destinés à desservir les lignes aériennes locales pour de courtes étapes n'excédant pas normalement 500 miles (soit environ 800 km).

Cette classification, bien que toujours officiellement en vigueur, n'est plus utilisée en pratique.

La tendance actuelle de la F.A.A. est d'établir des manuels pour divers types d'aérodromes tels que :

aéroport pour B. 747;
aéroport pour appareils à moteurs à pistons ou à turbo-propulseurs de moins de 5^{T}7, utilisés par l'aviation générale ou "utility airport";
aéroport pour avions à réaction d'un poids maximal de 60.000 livres (27,2 tonnes) ou "basic transport airport";
aéroport pour appareils de transport d'un poids maximal de 175.000 livres (79,3 tonnes), utilisé par l'aviation générale ou "general transport airport";
aéroport pour l'aviation de ligne ou "carrier airport";
aéroport pour hélicoptères;
aéroport pour avions à décollage court;
installations pour hydravions; etc......

Les trois premiers manuels sont déjà parus.

Cette tendance reste dans la ligne des classifications fonctionnelles bien qu'elle fasse appel à des critères de classification différents de ceux utilisés précédemment.

2,23 La classification française comprend cinq catégories d'aérodromes terrestres et trois catégories d'hydrobases suivant la nature du trafic envisagé.

Ces catégories sont définies par l'article R.222-5 du code de l'aviation civile.

2,231 Aérodromes terrestres.

L'activité aéronautique correspondant à chaque catégorie est la suivante :

A - Aérodromes destinés aux services à grande distance assurés normalement en toutes circonstances;

B - Aérodromes destinés aux services à moyenne distance assurés normalement en toutes circonstances et à certains services à grande distance assurés dans les mêmes conditions mais qui ne comportent pas d'étape longue au départ de ces aérodromes.

C - Aérodromes destinés :

1°) aux services à courte distance et à certains services à moyenne et même à longue distance qui ne comportent que des étapes courtes au départ de ces aérodromes;

2°) au grand tourisme.

D - Aérodromes destinés à la formation aéronautique, aux sports aériens et au tourisme et à certains services à courte distance.

E - Aérodromes destinés aux gyravions et aux aéronefs à décollage vertical ou oblique.

Nous reviendrons plus loin sur les aérodromes pour gyravions et ne considérerons ici que les aérodromes des catégories A, B, C et D.

On dira qu'un service est à grande distance s'il comporte au moins une étape longue, à moyenne distance s'il ne comporte pas d'étape longue mais s'il comporte au moins une étape moyenne, à courte distance s'il ne comporte que des étapes courtes.

Les limites entre les étapes longues, moyennes ou courtes, ne sont pas rigoureusement déterminées. C'est ainsi que la limite entre les étapes longues et moyennes adoptée en 1947 était de 1.500 Km tandis que la nouvelle édition de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes l'a portée à 3.000 Km.

Cette même Instruction fixe maintenant à 1.000 Km la limite entre les étapes moyennes et courtes.

Nous verrons que, pour un même appareil, le poids au décollage peut varier beaucoup selon la longueur d'étape qu'il franchit à partir de l'aérodrome considéré; cela est surtout vrai pour les avions à réaction. Il en résulte que, si un service à longue distance comporte une étape moyenne, au départ de cette étape moyenne, on peut parfois se contenter d'un aérodrome présentant les caractéristiques de la catégorie B, bien que le service desservi soit, dans son ensemble, par définition, un service à longue distance. C'est pourquoi, dans la définition de la catégorie B, on a ajouté les mots : "et à certains services à longue distance assurés dans les mêmes conditions mais qui ne comportent pas d'étape longue au départ de ces aérodromes". Des considérations de même nature s'appliquent aux services à moyenne et courte distances et expliquent les additions analogues figurant dans les définitions des aérodromes de catégories C et D.

En définitive, la considération principale intervenant pour la détermination de la catégorie de l'aérodrome est la plus grande longueur d'étape à partir de l'aérodrome, beaucoup plus que le fait que le service aérien lui-même dans son ensemble, est à longue, moyenne ou courte distance.

Remarque importante.- D'une manière générale, un aérodrome est destiné à plusieurs natures de trafic. Sa catégorie est celle qui correspond au trafic exigeant la catégorie la plus élevée. Par exemple, un aérodrome destiné aux transports à moyenne distance et aux transports à courte distance, sera de catégorie B.

Une étude attentive du matériel utilisé pour chaque mode d'activité aéronautique envisagé pour les diverses catégories d'aérodromes permet de définir les caractéristiques de l'avion type maximum correspondant à chaque catégorie. Cet avion-type maximum est d'ailleurs un avion fictif car ses caractéristiques ont été déterminées en adoptant, pour chacune d'elles, la valeur la plus élevée de celles des avions correspondant à la catégorie considérée.

L'examen des performances du matériel tant au décollage qu'à l'atterrissage ainsi que la considération des pentes

de montée et de descente permettent de définir les longueurs de pistes nécessaires ainsi que les dégagements désirables.

On peut ainsi définir pour chaque catégorie d'aérodrome, dans les conditions que nous examinerons plus loin, les valeurs à adopter pour les caractéristiques des divers éléments constitutifs de ces aérodromes.

En ce qui concerne les caractéristiques géométriques et le poids des avions-types des catégories A,B,C et D, l'Instruction sur l'aménagement des bases et des routes aériennes donne les valeurs suivantes :

Catégories	Longueur	Envergure	Hauteur	Poids maximum	Largeur du train	Pression des pneus
	m	m	m	tonnes	m	K/cm2
A	50	70	15	135	12	10
B	35	50	10	60	9	7
C	20	30	6	20	6	5
D	12	15	4	5	4	3

Ces indications reposent sur des données assez anciennes puisque la dernière édition complète de la première partie de l'Instruction sur l'aménagement des bases et des routes aériennes (Conception des aérodromes), où elles figurent, date de 1956 et n'a pas été modifiée sur ce point.

La mise en service d'avions long-courriers de grande capacité, les perspectives de mise en service d'avions supersoniques ou de moyen-courriers et même de court-courriers à grande capacité devraient conduire à modifier certains de ces chiffres, comme il ressort du tableau I ci-joint.

Bien que certaines indications du tableau I soient encore sujettes à révision, on voit, notamment, une tendance marquée à l'augmentation du poids, de la longueur et de la hauteur (de dérive) des avions les plus exigeants. Nous aurons à indiquer, dans ce cours, certaines conséquences de cette évolution.

TABLEAU I

Mai 1970

Quelques caractéristiques d'avions de grande capacité
ou supersoniques, en construction ou en projet.

Aéronefs	Longueur	Envergure	Hauteur	Poids max. au décollage	Largeur du train	Roue isolée équivalente (a)(approxim.)	Pression des pneus	Longueur de piste au décollage.(15°C-alt. zéro)	Capacité maximale		Observations
									Passagers	Fret	
	m	m	m	T	m	T	k/cm2	m		T	
Long-courriers											
B. 747 (1)..............	69,80	59,64	19,58	322,3	12,12	25	14,35	3.250	490	64,8	(1) en service
B. 747 B ou F (2)......	69,80	59,64	19,58	351,8	12,12	28	13,01	3.370	490	117	(2) mise en service prévue début 1972
DC.10 Series 30..........	54,86	47,35	17,70	234	12,04	-	12,3	3.100	270	44,4	
L.1011-8.................	-	-	-	255	-	-	14,0	3.000	-	-	
L. 500 (3)............	75,5	67,9	20,4	377	10,36	32	12,3	3.500	-	136	(3) en projet. Sera construit lorsque le besoin en sera exprimé par les compagnies aériennes.
Concorde (4)...........	58,8	25,6	11,58	170,6	8,39	37	12,9	2.800	144	-	(4) Essais en vol en cours.
B. 2.707 - 300 (5).....	85	43	15,20	340	8,4	37	15,5	-	234		(5) En projet. Mise en service envisagée vers 1978.
Moyen-courriers											
A - 300 B (6)..........	50,91	44,84	16,56	125	10,45	23	10,4	1.900	259	22,8	(6) En projet.
DC. 10 - Series 10 (7)...	54,86	47,35	17,70	186	12,04	25	12,3	2.250	270	36	(7) Mise en service prévue fin 1971.
L. 1011 - 1 (8)........	55,98	48,26	16,87	185,5	12,29	26	12,6	2.400	330	39,8	(8) En fabrication. Certification prévue pour fin 1971. 181 appareils commandés.
Court moyen-courrier											
Mercure (9)..........	33	30,55	11,35	(10) 49,5	7,50	19	8,1	(11) 2.000 (12) 2.060	155	6	(9) En projet. (10) Avec moteurs JT8D-11 (11) Pour une étape de 1.000 Km avec 134 passagers et 9.000 Kgs de fret. (12) Au poids maximum au décollage.

a) pour une piste construite sur un sol de qualité moyenne.

Les avions figurant au tableau I ne constituent d'ailleurs sans doute qu'une étape dans l'augmentation de la taille et du poids des avions. Une étude a été faite aux Etats-Unis, en 1969, sur l'évolution probable des appareils les plus exigeants susceptibles d'apparaître d'ici 1985 (Transport aircraft caracteristics, trends, and growth projections). Il s'agit uniquement de long-courriers.

Cette étude a été faite en commun par l'A.I.A. (Association des Industries Aérospatiales des Etats-Unis), l'A.O.C.I. (Conseil International des Exploitants d'Aéroports), l'A.T.A. (Association des Transporteurs Aériens des Etats-Unis) et l'I.A.T.A. (Association des Transporteurs Aériens Internationaux).

Les résultats de cette étude, qu'il ne faut d'ailleurs utiliser qu'avec prudence, ses auteurs eux-mêmes envisageant des mises au point ultérieures, sont les suivants.

Caractéristiques probables des avions les plus exigeants, en 1985.

Poids total.........	1.400.000 à 2.000.000 de livres (soit 650 à 900 tonnes)
Longueur............	environ 120m pour les appareils à un seul pont; 90m pour les appareils à plusieurs ponts.
Envergure...........	90m
Longueur de piste au décollage (longueur de base)...........	environ 3.100m à 3.800m
Charge par roue isolée....	26 tonnes.
Hauteur de dérive...	30m pour les subsoniques 21m pour les supersoniques.
Nombre de passagers.	1.200 pour les subsoniques; un peu plus de 400 pour les supersoniques.
Surface occupée sur l'aire de trafic....	9.000 m2
Hauteur du seuil des portes d'accès:	
1er pont........	3 à 6 m
2° pont........	5 à 8 m
3° pont........	6,5 à 10,5 m
Charge marchande en fret..............	270 tonnes
Capacité en carburant..............	370 m3.

2,232 Hydrobases

L'activité aérienne correspondant à chaque catégorie est la suivante :

A - Hydrobases destinées aux services à grande distance assurés normalement en toutes circonstances.

B - Hydrobases destinées aux services à moyenne distance assurés normalement en toutes circonstances et à certains services à grande distance assurés dans les mêmes conditions mais qui ne comportent pas d'étape longue au départ de ces hydrobases.

C - Hydrobases destinées aux services à courte distance et à certains services à moyenne et même à longue distance qui ne comportent que des étapes courtes au départ de ces hydrobases, ou au tourisme.

Les limites entre étapes longues, moyennes et courtes sont les mêmes que pour les appareils terrestres.

Par une voie analogue à celle suivie dans l'étude de la classification des aérodromes terrestres on est conduit à définir, pour chaque catégorie, les caractéristiques d'un hydravion type maximum qui sont résumées par le tableau suivant :

	Catégories		
	A	B	C
Poids maximum..	200 T	60 T	20 T
Envergure......	90 m	50 m	30 m
Longueur.......	60 m	40 m	20 m
Hauteur........	25 m	12 m	8 m
Tirant d'eau...	2 m	1m50	1 m
Chariot			
- Poids......	-	15 T	3 T
- Hauteur....	-	1 m	0,80

La détermination des caractéristiques des hydrobases s'effectue, ensuite, dans les mêmes conditions que pour les aérodromes terrestres.

2,233 On demande parfois pourquoi la France a établi une classification des aérodromes et ne s'est pas contentée d'adopter purement et simplement celle de l'O.A.C.I. ?

La réponse à cette question résulte immédiatement des observations qui précèdent. La classification française a été adoptée en vue de l'établissement d'un plan d'équipement. Il fallait donc définir chaque catégorie d'aérodrome en fonction des besoins du transport aérien. La classification nécessaire était, par conséquent, fonctionnelle et son rôle ne pouvait pas être rempli par le"système d'identification" de l'O.A.C.I.

Mais, du fait que la classification française et le système d'identification de l'O.A.C.I. répondent à des objets différents et reposent sur des principes différents, il résulte qu'ils ne sont pas en contradiction, bien que, pour les aérodromes terrestres, la classification française comporte quatre catégories et le système d'identification de l'O.A.C.I. comporte cinq lettres d'identification.

Chaque catégorie de la classification française correspond, en effet, à une ou plusieurs lettres d'identification du système de l'O.A.C.I., selon les indications du tableau suivant :

Catégorie de la classification française	Lettres d'identification du système de l'O.A.C.I.
A..............	.... A
B..............	.... B
C..............	 C
D (en partie)......	.... D et E

Seuls les aérodromes de catégorie D de la classification française dont la piste a une longueur inférieure à 600m n'ont pas de correspondant dans le système d'identification de l'O.A.C.I.

Dans l'établissement des caractéristiques de chaque catégorie de la classification française on a fait en sorte que, sauf sur quelques points secondaires, ces caractéristiques respectent celles des lettres d'identification O.A.C.I. les plus exigeantes, correspondant à la catégorie considérée.

On peut donc dire que la classification française respecte le système d'identification de l'O.A.C.I.

CHAPITRE III

CARACTERISTIQUES DES DIVERS ELEMENTS DE L'AIRE DE MOUVEMENT

3,1 AERODROMES TERRESTRES A PISTES CLASSIQUES

3,11 Pistes et bandes d'envol.

3,111 Généralités Les premiers appareils ne pouvaient guère atterrir ou décoller que face au vent. Etant donné le régime de vents très variables qui règne presque partout en France métropolitaine, on était conduit à la construction d'aires d'atterrissage permettant d'atterrir ou de décoller dans presque toutes les directions. D'où le nom "d'aérodromes "toutes directions" qui est parfois donné à ce type de terrains d'aviation.

Mais peu à peu, avec l'augmentation de la vitesse et du poids des appareils et avec l'apparition des trains tricycles, cette conception s'est profondément modifiée.

On admet maintenant qu'un avion peut atterrir ou décoller sans inconvénient pourvu que la composante transversale de la vitesse du vent Vt ne dépasse pas une certaine vitesse maximale assez élevée u dont nous verrons la valeur plus loin.

Autrement dit, soit AB la trajectoire de l'appareil, $\overline{V}$ ou $\overline{FR}$ le vecteur représentant le vent, il suffit que PP' soit inférieur à u (Voir figure 1).

Cette condition s'exprime par $V \sin\alpha \leq u$

Cette règle est d'application beaucoup plus difficile que ne pourrait le faire croire son énoncé car le vent présente, en général, des variations constantes et rapides, aussi bien en intensité qu'en direction; nous analyserons plus longuement ces difficultés et rechercherons comment, dans la pratique la condition $V \sin\alpha \leq u$ intervient dans la fixation des caractéristiques d'un aérodrome.

Nous verrons qu'elle permet de limiter le nombre de directions nécessaires pour l'atterrissage et l'envol des appareils; dans chacune de ces directions on

amènagera une ou plusieurs bandes, sur l'aire d'atterrissage.

Si le sol naturel de la bande n'a pas une résistance suffisante pour supporter le poids des appareils, il sera nécessaire de renforcer spécialement une partie de la bande, c'est-à-dire d'y construire une piste.

Nous aurons à rechercher, notamment, le nombre et l'orientation des directions d'envol à retenir, les dimensions à donner aux bandes et aux pistes, la résistance requise pour les pistes, le nombre de bandes ou de pistes à prévoir dans chacune des directions d'envol retenues.

3,112 Nombre et orientation des directions d'envol.

L'implantation des directions d'envol doit être choisie en fonction d'un grand nombre de facteurs parmi lesquels on peut citer :
- les facteurs climatologiques : régime des vents et des conditions de mauvaise visibilité,
- la topographie de l'emplacement de l'aérodrome et de ses abords : dégagements, présence d'agglomérations,
- la circulation aérienne aux abords de l'aérodrome.

Le plus souvent cette implantation résultera d'un compromis entre les diverses conditions à remplir.

Dans le présent paragraphe 3,112, nous indiquerons seulement comment on tient compte du régime des vents. On verra dans la suite du cours et notamment au paragraphe 7,5 comment on peut faire intervenir les autres facteurs à considérer.

3,112.1 Composante transversale admissible pour la vitesse du vent.

a) Remarque -

Il importe d'abord d'observer que le phénomène dangereux pour l'appareil n'est pas la composante transversale de la vitesse du vent par elle-même, mais la vitesse de l'appareil perpendiculairement à sa direction d'atterrissage.

En effet, pour conserver une direction parallèle à l'axe de la piste ou de la bande sur laquelle il a l'intention d'atterrir, le pilote est obligé de compenser la composante transversale du vent en donnant au plan de symétrie de son appareil une direction faisant un angle plus ou moins grand avec l'axe d'atterrissage.

Lorsque l'appareil est muni d'un train d'atterrissage orientable, l'atterrissage peut s'effectuer parallèlement à l'axe de la piste, même si le plan de symétrie de l'appareil

ne lui est pas parallèle. Mais, pour tous les autres appareils, c'est-à-dire dans le cas général, une manoeuvre est nécessaire au moment où l'avion va prendre contact avec le sol, de manière à placer le plan de symétrie de l'appareil parallèlement à l'axe de la piste. Il en résulte que l'appareil prend contact avec la piste avec une certaine vitesse transversale qui constitue précisément le phénomène dangereux.

Lorsque la vitesse du vent est uniforme, la composante de la vitesse de l'appareil perpendiculaire à l'axe d'atterrissage est égale à la composante du vent perpendiculairement à cet axe. Mais, si le vent est irrégulier en vitesse ou en direction, la vitesse transversale de l'appareil est différente dd la vitesse transversale du vent au moment où l'appareil prend contact avec le sol car l'avion présente une certaine inertie. Cette remarque est importante car elle pose le problème de la prise en considération des variations de faible période de la vitesse du vent.

b) Valeurs admissibles pour la composante transversale de la vitesse du vent.

La valeur maximale admissible pour la composante transversale de la vitesse du vent (appelée aussi vent traversier) varie considérablement d'un type d'appareil à l'autre.

Actuellement, elle peut descendre à 2 ou 3 m/sec. pour les petits avions à train d'atterrissage fixe et roulette de queue et atteindre 13 à 15 m/sec. pour les avions de ligne de tonnage moyen à train d'atterrissage orientable pu pour les avions de fort tonnage à train tricycle.

Le certificat de navigabilité de chaque appareil doit indiquer le vent traversier maximal admissible.

En pratique, certaines compagnies aériennes adoptent des valeurs inférieures à celles du certificat de navigabilité.

Dans le choix de la valeur du vent traversier admissible pour un type d'appareil, il convient d'ailleurs de tenir compte d'un certain nombre de facteurs secondaires tels que l'état de la surface de la piste (la présence de neige ou de glace sur la piste réduit la valeur admissible), les conditions de visibilité associées au vent considéré, la largeur et la longueur de la piste.

Il est probable que la plupart des Compagnies qui ont adopté des valeurs réduites du vent traversier admissible ont tenu compte de l'existence de certaines de ces circonstances au moins sur une partie des aérodromes habituellement fréquentés par leurs appareils.

Pour l'étude d'un aérodrome donné, on ne peut pas tenir compte des valeurs du vent traversier maximal applicables à tous les appareils susceptibles de fréquenter cet aérodrome et encore moins des valeurs adoptées, pour leur exploitation, par les diverses Compagnies. On adopte en principe, une vitesse transversale maximale du vent unique pour tous les aérodromes d'une même catégorie. Cette vitesse est choisie en tenant compte des vents traversiers susceptibles d'être supportés par les appareils correspondant à la classe considérée, mais en éliminant certaines valeurs, inférieures aux valeurs habituelles, adoptées par certaines Compagnies.

En France, pour l'étude des aérodromes, on admet que les valeurs maximales du vent traversier acceptables pour l'avion-type maximum correspondant à chacune des catégories d'aérodrome (c'est-à-dire les valeurs de "u" dont il est question au parag. 3,111 ci-dessus) sont les suivantes :

Catégorie	A	13	m/sec.
"	B	10	"
"	C	7	"
"	D	5	"

Ces valeurs concordent très sensiblement avec les recommandations de l'O.A.C.I. qui sont :

20 noeuds (soit 10 m/sec.) pour les avions exigeant une longueur de base de piste A ou B;

13 noeuds (soit pratiquement 7 m/sec.) pour les avions exigeant une longueur de base de piste C;

10 noeuds (soit 5 m/sec.) pour les avions exigeant une longueur de base de piste D ou E.

La valeur de 13 m/sec. admise pour la catégorie A, en France, paraît un peu élevée, et il est probable que, dans un but d'uniformité, elle sera ramenée à 10 m/sec. à la prochaine révision de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes.

Il ne faut pas perdre de vue que les valeurs de 13, 10, 7 et 5 m/sec. correspondent à l'avion-type de chaque catégorie. En fait, un aérodrome de catégorie A recevra, non seulement des avions qui admettent un vent traversier de 13 m/sec. mais encore des avions correspondant à la catégorie B ou même C, c'est-à-dire des avions qui ne peuvent accepter qu'un vent traversier de 10 m/sec. ou 7 m/sec. Nous verrons plus loin comment on tient comptede cette observation.

c) Problème des rafales.

Il est évident, comme nous l'avons dit plus haut, que des variations de très courte durée de la vitesse du vent ne peuvent pas avoir d'incidence sur la vitesse d'un avion en raison de l'inertie de l'appareil; ceci est surtout vrai pour les appareils de gros tonnage et pour les appareils rapides qui offrent généralement, à poids égal, moins de prise au vent traversier que les appareils lents.

La difficulté consiste à déterminer la durée des variations de vitesse du vent à prendre en considération c'est-à-dire à définir les rafales présentant de l'importance pour l'aviation.

La définition suivante a été adoptée par la conférence des Directeurs de l'O.M.I. de 1947 et elle est toujours valable :

"Une rafale est une variation positive de la vitesse du vent, comptée à partir de la vitesse moyenne (vitesse de 10 minutes), égalant ou excédant 10 noeuds (5 m/sec.) durant au moins une seconde, mais pas plus de 20 secondes".

Cette définition a fait l'objet de critiques mais il n'a pas été possible jusqu'à présent, de se mettre d'accord sur une meilleure définition. La question est, en effet, très complexe. Il n'est pas douteux, notamment, que l'intensité et la durée de rafale à laquelle un avion est sensible sont extrêmement variables d'un appareil à l'autre. Malheureusement aucune expérimentation ne semble avoir été faite en ce domaine.

Nous ne nous étendrons pas plus sur le problème des rafales car nous verrons plus loin que, pour l'établissement des statistiques utilisées dans l'étude des projets d'aérodromes, on ne tient pas compte, pratiquement, des rafales.

Ce problème conserve néanmoins son intérêt pour l'exploitation des aérodromes, mais c'est un domaine qui n'entre pas dans l'objet de ce cours.

3,112.2 Mesures des vitesses et directions du vent.

3,112.21 La recherche des directions d'envol pour lesquelles un aérodrome doit être aménagé, repose sur l'étude des conditions météorologiques.

Le renseignement essentiel consiste dans les relevés de direction et de vitesse des vents fournis par les services météorologiques.

Il est essentiel de souligner que les problèmes posés par ces études sont nettement différents de ceux que pose l'exploitation de l'aérodrome.

Pour le contrôle de la circulation aérienne, le renseignement essentiel réside dans la direction et la vitesse du vent au moment même où s'effectue un atterrissage; ce dont on a besoin, ce sont d'indications instantanées et continues.

Au contraire, dans l'étude d'un aérodrome, il s'agit d'utiliser des renseignements portant sur une longue période passée en vue d'en tirer des conclusions pour l'avenir.

Dans les régions tempérées, une durée d'observations de 5 ans est un minimum pour obtenir une statistique de quelque valeur et une durée de 10 ans est souhaitable.

On ne dispose pas toujours de statistiques établies dans ces conditions, par exemple lorsqu'il s'agit d'étudier un aérodrome entièrement nouveau. On peut alors envisager de tourner la difficulté en appliquant la méthode suivante qui, d'ailleurs, bien que souvent préconisée, n'a pas encore été, à notre connaissance, appliquée systématiquement :

- on ferait des observations régulières pendant un ou deux ans sur le site étudié, lui-même,
- on comparerait ces observations aux observations faites, pendant la même période, dans une ou deux stations aussi voisines que possible du site étudié et convenablement choisies, où des observations ont été faites pendant une période assez longue (au moins 5 ans),
- on en déduirait les corrections à faire subir aux observations des stations voisines pour obtenir des indications valables sur le site étudié, ce qui permettrait d'utiliser, moyennant des corrections appropriées, les statistiques des stations voisines pour l'étude de ce site.

Cette méthode dont l'application, requiert beaucoup d'expérience et de discernement, ne saurait d'ailleurs donner que des résultats approchés. Elle permet, en tous cas, de corriger les erreurs pouvant provenir d'une trop faible durée des observations faites sur un site où le régime des vents est encore mal connu.

Le vent qui intervient dans les opérations d'atterrissage et de décollage est le vent au sol; en principe le vent est mesuré, non pas au niveau du sol, mais à la hauteur de 10m au-dessus du sol, sur un terrain bien dégagé, hauteur qui a été adoptée pour les observations synoptiques de la météorologie. Cette hauteur a été reconnue comme celle à laquelle le vent mesuré est suffisamment représentatif d'un site considéré. Le

vent mesuré à une hauteur plus faible peut différer assez sensiblement d'un emplacement à un emplacement immédiatement voisin. Or, il faut que les mesures faites fassent connaître les conditions existant au-dessus des pistes, actuelles ou projetées de l'aérodrome, c'est-à-dire sur une surface assez étendue, surtout dans le cas où il s'agit d'un projet pour lequel l'implantation des pistes peut varier dans des limites plus ou moins larges.

Les méthodes de mesure sont nombreuses et sont loin d'avoir la même valeur.

La description des appareils n'entre pas dans l'objet de ce cours, aussi les méthodes de mesures seront-elles examinées du seul point de vue des études d'aménagement d'aérodrome.

Les appareils utilisés pour les mesures sont :

- la girouette pour les mesures de direction;
- l'anémomètre pour les mesures de vitesse.

3,112.22 La méthode de mesure la plus simple consiste à envoyer un observateur relever périodiquement les indications de la girouette et de l'anémomètre.

On peut, à cet effet utiliser, par exemple, un appareil de type "Télévent" modèle E.C.M. à transmission électrique.

La direction s'exprime en divisant la rose des vents en secteurs et en indiquant le secteur dans lequel se trouve la direction d'où souffle le vent, par exemple, avec une division en 16 secteurs :

N, N.N.E., N.E., E.N.E., etc....

Si on utilise une rose des vents à 18 directions, comme il est de règle actuellement pour les observations synoptiques de la météorologie nationale, la direction sera celle de la bissectrice de chaque secteur, soit :

20°, 40°, 60° ......

Les observations faites au cours d'un certain nombre d'années sont classées de la manière suivante :

On note le nombre d'observations correspondant à des vents inférieurs à une certaine vitesse (vents calmes); au-dessus de cette vitesse, on considère différents intervalles de vitesses de vents et, dans chaque intervalle, on indique le nombre d'observations pour chacune des seize/(ou dix-huit) directions de la rose des vents.

Quelquefois les nombres sont indiqués en pourcentages ou rapportés à 1.000 observations.

Il est intéressant pour la facilité des études ultérieures qu'une des limites de vitesse soit celle qui correspond au vent traversier maximal admissible pour l'aérodrome; toutes les observations comportant une vitesse inférieure à cette limite, sont en effet favorables, quelles que soient la direction du vent et celle de la piste étudiée.

3,112.23 On peut faire deux critiques à la méthode décrite au paragraphe précédent.

En premier lieu, chacun des 18 ou 16 secteurs de la rose des vents mesurant 20° ou 22°30' et tous les vents soufflant dans un même secteur étant rapportés à sa bissectrice, s'il existe un vent régulier s'écartant de cette bissectrice, il peut en résulter une erreur systématique atteignant au maximum 11°15'. Cette objection est plus théorique que pratique car, en fait, les vents au sol sont très irréguliers et il est assez illusoire de rechercher une précision inférieure à une dizaine de degrés dans la direction.

En second lieu, des statistiques reposant seulement sur un nombre limité d'observations quotidiennes faites à heures fixes peuvent dans certains cas ne pas être assez représentatives du régime des vents.

Il n'est pas nécessaire toutefois de procédér à des observations horaires. L'expérience a montré, au moins dans les régions tempérées, que si l'on compare, pour une même station, des statistiques basées sur les quatre observations de 00, 06, 12 ou 18 heures avec celles basées sur les quatre observations de 03, 09, 15 et 21 heures, les différences sont inférieures à l'écart existant entre une statistique complète basée sur cinq ans et la normale.

On peut donc se contenter d'observations faites huit fois par jour, à intervalles réguliers de 3 heures. On prend même ainsi une sécurité supplémentaireà l'égard de certains vents qui pourraient se produire à heures fixes (cas de certains climats côtiers) et que des statistiques reposant sur des observations faites à 6 heures d'intervalle pourraient ou bien laisser échapper (s'ils se produisent entre deux observations) ou bien faire intervenir pour plus que leur fréquence réelle (s'ils se produisent aux heures des observations).

Un premier perfectionnement dans les méthodes d'observation consiste à procéder à un enregistrement continu

des phénomènes car il facilite les lectures et permet de multiplier les observations. Pour cela, les appareils, girouette et anémomètre, sont munis de récepteurs enregistreurs.

Girouette - Dans l'appareil le plus utilisé actuellement (girouette électrique Papillon à résistances) on utilise, comme dans le cas précédent, une rose à 16 directions, ou plutôt, actuellement, à 18 directions. L'appareil enregistreur est muni d'une plume en verre à pointage qui inscrit, sur le diagramme un point toutes les 40 secondes.

On obtient ainsi des inscriptions du type de la figure 2. Normalement, les points devraient tous être alignés dans l'axe des rectangles correspondant à une des seize directions; les points situés en dehors de ces axes correspondent à des pointages effectués pendant que la plume se déplaçait d'une direction à une autre; lorsque le vent est très irrégulier, la plume se déplace constamment et les points ne sont plus du tout alignés sur les axes des diverses directions; on obtient alors des diagrammes du type de celui de la figure 3 qui sont très difficiles à lire car les points marqués ne correspondent pas nécessairement à la direction réelle du vent au moment de l'enregistrement.

Dans les cas courants, le diagramme donne toutefois des renseignements assez précis permettant de définir pour des périodes données, par exemple pour chaque heure ou pour les dix minutes précédant chaque heure, quelle a été la direction de plus grande fréquence.

Un perfectionnement important dans l'enregistrement de la direction du vent consiste à utiliser un enregistreur dans lequel l'index reproduit, non pas une des dix-huit ou seize directions de la rose des vents, mais la direction exacte de la girouette; on peut utiliser à cet effet, un enregistreur du type "autosyn" qui donne la direction de la girouette avec une précision de 3°.

On peut ainsi enregistrer sur un diagramme, la direction réelle du vent, par exemple toutes les 40 secondes.

On obtiendra un diagramme analogue à celui de la figure 3 mais avec cette différence essentielle que les points correspondront à des directions réelles du vent.

Il faudra ensuite déterminer pour des périodes correspondant aux observations successives, le centre de gravité de chaque nuage de points ce qui donnera la direction moyenne pendant la période considérée. En fait, compte tenu du degré de précision de l'appareil et de

l'irrégularité de la direction du vent, il suffira de diviser la rose des vents en 36 secteurs de 10° chacun et de rapporter chaque direction moyenne déterminée à l'axe d'un de ces secteurs.

Les appareils autosyn, malgré les avantages qu'ils présentent, sont encore peu utilisés en France, à cause de leur prix élevé.

Pratiquement les vents sont classés, actuellement dans des secteurs de 20° (rose à 18 directions) ou, parfois, dans des secteurs de 22°30' (rose à 16 directions).

Anémomètre : L'enregistrement continu de la vitesse du vent s'effectue à l'aide d'appareils du type de l'anémomètre électromagnétique Papillon qui donnent des diagrammes tels que celui des figures 4 et 5.

On notera que ces diagrammes font ressortir deux types de vents nettement différents : des vents laminaires et des vents soufflant en rafales.

Le premier type de vent est celui qui apparaît entre 19 et 23 heures ainsi qu'entre 0 et 5 heures sur le diagramme de la figure 4.

Le diagramme de la figure 5 fait apparaître au contraire, un régime de rafales qui est aussi celui qui règne entre 9 heures et 19 heures, entre 23 heures et 24 heures, ainsi qu'entre 5 heures et 9 heures sur le diagramme de la figure 4.

On peut observer, en passant que le régime laminaire peut correspondre à des vents forts (jusqu'à 12 m/sec. sur la figure 4) tandis que les rafales peuvent correspondre à des vents faibles (voir fig.4, entre 9 et 11 heures, et fig.5, entre 2 et 9 heures).

Pour l'utilisation de ces courbes, il ne peut pas être question de tenir compte de toutes les variations de vitesse qui ont été enregistrées. Il faut donc procéder à une première simplification.

On pourrait admettre, par exemple, que la vitesse à considérer est :

- pour les vents laminaires une vitesse moyenne ne tenant pas compte des variations de faible durée,
- pour les régimes de rafales, les maximums de vitesse. On serait ainsi amené à tracer, sur le diagramme, une courbe telle

que a,b (fig.4) qui passe sensiblement à mi distance des minimums et maximums du régime laminaire et suit les pointes supérieures des rafales.

On déduirait ensuite de cette courbe, les vitesses à prendre en compte aux heures choisies pour les observations, soit par exemple 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 et 21 heures.

Il ne resterait plus qu'à déterminer la direction du vent aux heures correspondantes pour pouvoir établir un tableau analogue au tableau II ci-après.

Remarques. - La simplification consistant à faire passer la courbe a,b, à mi-distance des maximums et minimums du régime laminaire est plus intéressante que ne pourrait le faire croire l'examen de la figure 4. Il existe, en effet, des régimes laminaires pour lesquels la bande de vitesses est beaucoup plus large que sur cette figure et où la méthode indiquée permet de faire passer la courbe a,b, par exemple, à 1 m/sec. au-dessous du maximum de la vitesse du vent en régime laminaire.

3,112.24 La méthode décrite à la fin du paragraphe précédent, bien que séduisante, n'a été employée que rarement. Elle présente, en effet, d'assez nombreux inconvénients.

a) elle fait intervenir la notion de rafale. Il est donc nécessaire de disposer d'un appareil construit spécialement de manière à être sensible seulement aux rafales intéressant l'aviation; il faut pour cela que la période d'amortissement de l'anémomètre soit égale à la durée minimale des rafales que l'on veut enregistrer. Mais la difficulté consiste surtout à déterminer cette durée minimale qui présente, comme nous l'avons vu plus haut, en l'état actuel de nos connaissances, un grand caractère d'arbitraire.

b) elle nécessite des dépouillements assez longs de bandes anémométriques.

c) les résultats finaux obtenus, c'est-à-dire les valeurs du coefficient d'utilisation (voir parag. 3,112.3 ci-après) diffèrent assez peu, que l'on tienne compte ou non des pointes de rafales.

d) il y a intérêt à utiliser pour les études d'aérodromes, des statistiques reposant sur les observations utilisées pour les messages synoptiques. Cette méthode est d'ailleurs recommandée par l'O.A.C.I.

Dans ces messages, la vitesse et la direction du vent indiquées sont la vitesse et la direction moyennes durant une période de dix minutes ou durant la période nécessaire au passage de 5 milles marins de vent.

Il est facile de construire un appareil donnant, par des calculs très simples, des vitesses moyennes, On peut, par exemple, adjoindre à l'anémomètre électromagnétique un appareil marquant un trait sur le bord de la feuille toutes les fois que le moulinet de l'anémomètre a fait un certain nombre de tours; on peut voir ces traits sur le bord supérieur du diagramme de la figure 5, l'intervalle entre deux traits correspond à 5.000m de vent; ceci permet de calculer la vitesse moyenne pendant la période désirée; par exemple, à 12 heures, cette vitesse était d'environ :

$$\frac{5.000m}{\frac{50}{3,5} \times 60 \text{ sec.}} = \text{env. } 5m/sec. \quad \text{(espacement des traits égal à environ } \frac{1 \text{ heure}}{3,5}\text{)}$$

On construit aussi des appareils qui enregistrent la vitesse moyenne du vent par périodes de 10 minutes. Sur la fig.6 les traits du bord gauche du diagramme sont proportionnels à la quantité de vent qui est passée pendant les dix minutes suivantes, ce qui permet, moyennant le choix d'une échelle convenable, de lire directement la vitesse moyenne pendant ces dix minutes.

3,112.25 En résumé, les renseignements statistiques dont on dispose pour l'étude d'un aérodrome, doivent pour être satisfaisants, reposer sur des observations faites dans les conditions ci-après :

a) les statistiques porteront sur une période d'au moins 5 ans,
b) les observations seront faites huit fois par jour, à intervalles réguliers, c'est-à-dire, pratiquement, à 00,03,06,09, 12,15,18 et 21 heures.
c) la mesure du vent sera obtenue conformément aux procédures prescrites par l'Organisation Météorologique Mondiale pour la mesure du vent à la surface destinée aux observations synoptiques, c'est-à-dire que :

- le vent sera mesuré à 10m au-dessus du sol, à un endroit dégagé,
- la vitesse et la direction seront la vitesse et la direction moyennes durant une période de 10 minutes ou durant la période nécessaire au passage de 5 milles marins de vent,

d) les observations seront classées en direction dans des secteurs d'une ouverture totale de 20° (ou, éventuellement, de 22°30' pour certaines observations anciennes).

e) les observations seront classées en intervalles de vitesse de 1m/sec. au-dessus d'une certaine vitesse correspondant aux vents calmes (pratiquement, en France, on pourrait descendre jusqu'à 1m/sec.).

Il convient de remarquer, en ce qui concerne le paragraphe ci-dessus que, selon les usages en vigueur en France, le vent indiqué comme ayant une vitesse de v m/sec. a, en réalité, une vitesse comprise entre v - 0,5 m/sec. et v + 0,4 m/sec. ou plus exactement une vitesse au moins égale à v - 0,5 m/sec. et inférieure à v + 0,5 m/sec. Nous aurons à tenir compte, plus loin, de cette observation.

Une remarque analogue peut être faite pour les directions. Par exemple, avec une rose à 18 directions, c'est-à-dire avec des secteurs de 20° d'ouverture, les vents rattachés à la direction 60° sont ceux dont la direction est comprise entre 50° et 70°

Les renseignements statistiques seront fournis, par exemple, sour la forme du Tableau II ci-après, qui a été établi d'après les observations faites au Bourget de 1946 à 1950. On observera, toutefois, que ce tableau indique pour chaque direction et vitesse, le nombre d'observations de vitesses supérieures ou égales à la vitesse considérée. Cette présentation particulière est faite pour faciliter certaines applications. On peut en déduire sans difficulté le nombre d'observations d'une vitesse donnée. Par exemple, dans la direction 220° le nombre d'observations de vitesses de 10 m/sec. a été de 135 - 81 = 54.

C'est un tableau de cette forme que l'on utilisera pour étudier sur un emplacement donné, la valeur de la composante transversale du vent correspondant à une direction donnée d'atterrissage et d'envol. L'établissement du tableau lui-même incombe au Service de la Météorologie; il était pourtant intéressant d'exposer les méthodes utilisées pour cet établissement en vue d'avoir une idée des approximations adoptées.

La précision des renseignements fournis surtout d'après les méthodes les plus modernes mentionnées au paragraphe précédent est largement suffisante.

Il serait illusoire, en effet, de chercher à serrer les phénomènes de plus près, sans prendre en compte und donnée qui a été négligée jusqu'à présent à savoir, la répartition du trafic.

Il est bien évident, par exemple, que, sur un aérodrome où tout le trafic se fait de jour, il ne devrait être tenu aucun compte des observations de nuit. Chaque observa-

TABLEAU II

Station du BOURGET

Statistiques des directions (d) et vitesse (ve) des vents observés au cours des années 1946 à 1950 incluse.

v \ d	360°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	toutes directions	d \ v
20												2	1		1	2			5	20
18												4	1		2	4	2		13	18
17											2	8	5	2	3	4	2		27	17
16											2	8	6	7	7	4	2		37	16
15	2										4	16	14	14	11	4	2		69	15
14	5										9	23	18	20	18	7	2	2	104	14
13	12	1	2	2	1					5	14	37	30	35	30	13	8	5	197	13
12	12	5	7	4	1					5	45	63	56	64	50	19	14	10	355	12
11	12	7	9	8	3				1	7	51	81	83	87	63	24	18	14	469	11
10	28	22	17	13	5	1	2		1	21	97	135	150	147	99	40	31	24	835	10
9	48	38	24	21	15	6	2	5	18	45	145	198	212	199	132	55	41	43	1248	9
8	109	78	47	35	23	11	7	9	23	78	223	317	340	299	200	99	62	67	2027	8
7	166	150	101	71	46	23	11	18	42	138	311	430	452	406	285	159	120	108	3037	7
6	262	252	151	105	81	49	27	49	92	196	420	569	609	552	394	226	168	163	4371	6
5	402	373	273,	182	136	89	53	86	143	308	546	721	766	743	549	302	240	226	6144	5
4	507	507	393	267	203	140	93	138	218	437	648	813	904	901	676	383	310	312	7853	4
3	658	610	511	371	307	227	159	215	281	544	739	903	1011	[illegible]	839	479	414	417	9763	3
2	760	773	642	501	473	376	261	331	386	656	817	955	1090	1195	942	543	500	533	11739	2

Vitesses inférieures à 2m/sec. : 2.869; Nombre total: 14.608

tion devrait donc être affectée d'un poids correspondant à l'intensité du trafic; or, celui-ci est en principe le trafic futur et ne peut pas donner lieu à des prévisions sérieuses quant aux heures où il s'effectuera.

La solution la plus rationnelle consiste donc, après avoir adopté une méthode de mesure des directions et vitesses des vents, praticable et aussi rationnelle que possible, de jouer sur la marge de sécurité que comportent les maximums admissibles "u" de la composante transversale du vent, de telle sorte que les aérodromes étudiés, d'après les tableaux d'observations classées, fournis par la Météorologie, s'avèrent, en pratique, satisfaisants pour les besoins de l'exploitation.

3,112.3 Coefficient d'utilisation.

3,112.31 Définitions.

Considérons une piste d'axe AB, d'un aérodrome de catégorie B (fig.7).

Les relevés météorologiques permettent de calculer pour la période à laquelle ils s'appliquent :

- le nombre N_1 d'observations pour lesquelles la composante transversale du vent est inférieure à 10 m/sec. c'est-à-dire pour lesquelles le vent pourra être représenté par un vecteur tel que $\overline{V_1}$.

Ces observations sont considérées comme favorables .

le nombre N_2 d'observations pour lesquelles le vent représenté par un vecteur tel que V_2 aura une composante transversale supérieure à 10 m/sec.

Ces observations seront considérées comme défavorables.

On appelle coefficient d'utilisation de la piste AB, le rapport exprimé en pourcentage, du nombre d'observations favorables N_1 au nombre total d'observations $N_1 + N_2$ soit $n = 100 \dfrac{N_1}{N_1 + N_2}$

Dans la pratique, le nombre total d'observations $N = N_1 + N_2$ étant une donnée indépendante de la direction de la piste, on recherche le nombre N_2 d'observations défavorables, qui est plus facile à déterminer que N_1, car il est beaucoup plus faible et l'on en déduit :

$$N_1 = N - N_2 \text{ d'où } n = 100 \frac{N - N_2}{N}$$

Si l'aire d'atterrissage comporte plusieurs pistes ou bandes d'envol, on définira son coefficient d'utilisation d'une manière analogue.

On recherchera pour ce système de pistes ou bandes, le nombre N_2 d'observations pour lesquelles la direction et la vitesse du vent sont telles que la composante transversale du vent soit supérieure au maximum "u" pour toutes les directions d'envol. On en déduira, par différence avec le nombre total d'observations, le nombre $N_1 = N - N_2$ des observations favorables, c'est-à-dire pour lesquelles il existe au moins une direction d'envol pour laquelle la composante transversale du vent soit inférieure ou égale au maximum "u" fixé pour la classe de l'aérodrome considéré.

Le coefficient d'utilisation sera donné par la même formule que dans le cas d'une piste unique :

$$n = 100 \frac{N - N_2}{N}$$

3,112.32 Valeurs

Pour que l'aire d'atterrissage soit utilisable constamment, il faudrait, théoriquement, que le coefficient d'utilisation soit égal à 100%. L'étude de cas concrets montre qu'en admettant un coefficient légèrement inférieur à 100% on peut généralement réduire d'au moins une unité le nombre de pistes nécessaires; Ceci conduit à admettre que le coefficient d'utilisation puisse être limité à une valeur légèrement inférieure à 100% étant donné que la suppression de la légère gêne qui pourra en résulter pour le trafic ne justifie généralement pas les dépenses qu'il faudrait faire pour porter à 100% le coefficient d'utilisation.

L'O.A.C.I. recommande que le coefficient d'utilisation des aérodromes ouverts au trafic international soit aussi élevé que possible et au moins égal à 95%.

En France, le coefficient d'utilisation minimal admis pour les principales catégories d'aérodromes avec les valeurs de la composante transversale du vent que nous avons déjà indiquées, sont :

catégorie A.............. 95 %
catégorie B.............. 95 %
catégorie C.............. 80 %
catégorie D.............. 70 %

Les valeurs relatives aux catégories C et D sont trop faibles. Cela tient, pour la catégorie C à ce qu'elles ont été adoptées à une date où les aérodromes de cette catégorie étaient principalement destinés aux transports à la

demande; on avait considéré que, pour de tels transports, on pouvait admettre un pourcentage de déroutements relativement élevé. Aujourd'hui où les aérodromes de catégorie C sont destinés aux liaisons à courte distance, en particulier aux lignes régulières et à l'aviation générale de voyage, un coefficient d'utilisation minimal de 95% est justifié, comme pour les catégories supérieures. On peut même considérer que, pour les lignes régulières, l'absence de déroutements est plus nécessaire pour les transports à courte distance que pour les transports à moyenne ou à longue distance. En catégorie D, les mêmes considérations ne s'appliquent pas, en général. Par contre, on peut dire que l'aménagement d'une ou deux bandes secondaires qui pourraient être nécessaires pour porter au-dessus de 70° le coefficient d'utilisation sera souvent peu couteux; aussi parait-il préférable de ne pas descendre au-dessous d'une valeur de 90% pour le coefficient d'utilisation, en catégorie D.

D'autre part, il ne faut pas perdre de vue que les valeurs ci-dessus indiquées pour le coefficient d'utilisation des catégories A, B, C ou D sont des minimums valables dans les cas courants. Dans le cas des aérodromes à grand trafic (Orly et Le Bourget, par exemple) le nombre des déroutements qui résulteraient de valeurs du coefficient d'utilisation égales aux minimums ci-dessus indiqués pourrait être une gêne sérieuse pour l'exploitation et entraînerait, d'autre part, des dépenses supplémentaires importantes pour le transport aérien. Pour ces aérodromes, en nombre d'ailleurs très limité, on consentira donc les dépenses nécessaires pour porter le coefficient d'utilisation à une valeur nettement plus élevée que le minimum de la classe correspondante et pouvant être très voisin de l'unité.

Autrement dit, les considérations d'ordre économique, qui, dans la plupart des cas, conduisent à accepter un coefficient d'utilisation nettement inférieur à l'unité, peuvent conduire, au contraire, à adopter, pour certains aérodromes, des valeurs du coefficient d'utilisation supérieures aux minimums courants.

3,112.33 Méthodes de calcul.

Il existe de nombreuses méthodes de calcul du coefficient d'utilisation, basées soit sur l'utilisation directe du tableau des observations de vent classées, soit sur des procédés graphiques.

L'O.A.C.I. n'a pas cru devoir faire un choix parmi ces nombreuses méthodes et s'est contentée de recommander

que le coefficient d'utilisation d'une piste ou d'un système de pistes soit calculé par une méthode dont les hypothèses ne conduisent pas à des résultats par excès.

Nous allons décrire trois méthodes, d'ailleurs très voisines les unes des autres, reposant sur des procédés graphiques, car elles sont plus expressives que celles qui reposent sur l'utilisation directe du tableau des observations de vent classées.

Les trois méthodes décrites ci-après répondent à la recommandation de l'O.A.C.I. à moins que l'on se trouve en présence d'un régime de vents exceptionnel.

Au préalable, il nous paraît nécessaire de donner quelques explications sur le principe des méthodes de calcul du coefficient d'utilisation et, notamment, des méthodes graphiques.

Représentons en coordonnées polaires, autour d'un point C, les observations de vents qui ont été utilisées pour l'établissement de la statistique fournie par la météorologie (voir fig.8).

Soit M_1 M_2....... M_n les points représentatifs, $\overline{CM_1}$ étant pour l'observation (1) un rayon vecteur dirigé vers la direction d'où soufflait le vent et la longueur CM_1 étant égale, à une échelle appropriée, à la vitesse observée.

Soit d'autre part, AB la direction dont on veut calculer le coefficient d'utilisation. Traçons deux droites $A_1 B_1$ et $A_2 B_2$ parallèles à AB, de part et d'autre de celles-ci et distantes de AB d'une longueur u égale, à la même échelle que celle utilisée pour CM_1 CM_2 .....CM_n, à la composante transversale maximale du vent admise pour la catégorie d'aérodrome considérée.

L'observation représentée par M_1 est favorable puisque la composante transversale du vent correspondante est $M_1 P_1 < u$.

Par contre, l'observation représentée par M_2 est défavorable puisque la composante transversale du vent correspondante est $M_2 P_2 > u$.

Tous les points tels que M_1 situés à l'extérieur de l'intervalle des droites $A_1 B_1$ et $A_2 B_2$ représentent ainsi des observations défavorables.

S'il était possible de représenter sur un plan chacune

des observations faites, il suffirait donc de compter les points, tels que M_2 , extérieurs à l'intervalle des deux droites A_1 B_1 et A_2 B_2 pour avoir le nombre N_2 des observations défavorables, ce qui permettrait de calculer, avec une grande précision, le coefficient d'utilisation.

Mais ce serait un travail pratiquement impossible, (la statistique du tableau II porte sur 14.608 observations). Aussi est-on conduit à des simplifications qui font précisément l'objet des méthodes ci-après.

a) <u>Méthode des trapèzes</u> (Fig.9)

Représentons en coordonnées polaires les renseignements statistiques du Tableau II, mais sans cumuler les observations. Par exemple, dans la direction 0° (ou 360°) les nombres d'observations de vitesses successives seront :

15	m/sec.	....	2
14	"	5 - 2 =.........	3
13	"	12 - 5 =.........	7
12	"	12 - 12 = ...	0
11	"	12 - 12 = ...	0
10	"	28 - 12 = ...	16
9	"	48 - 28 = ...	20
8	"	109 - 48 = ...	61
7	"	166 - 109 = ...	57
6	"	262 - 166 = ...	96
5	"	402 - 262 = ...	140

Il est inutile de continuer ce calcul au-dessous de la vitesse égale à la plus basse composante transversale que l'on veut étudier. Par exemple, dans le cas considéré, on a rassemblé au centre de la figure tous les cas, au nombre de 8.464 de vents de vitesse inférieures à 5 m/sec. parce que l'on ne se propose pas d'utiliser le graphique pour étudier des coefficients d'utilisation correspondant à des vents traversiers inférieurs à 5 m/sec.

Nous avons vu plus haut que les services de la météorologie notent un vent comme étant de n m/sec. lprsque sa vitesse est $\geq$ n - 0,5 m/sec. et $<$ n + 0,5 m/sec. De même, les directions sont, en fait, comprises entre les bissectrices de deux directions successives indiquées sur le tableau de la météorologie. Autrement dit, par exemple, les 4 observations de vents de 11 m/sec. dans la direction 340° sont, en fait, des observations dont les points représentatifs sont compris dans le trapèze curviligne a b c d.

Supposons que nous voulions calculer le coefficient d'utilisation de la direction 24° - 204° pour un vent traversier de 7 m/sec.

Nous tracerons les deux parallèles D_1 et D'_1 à cette direction tangentes au cercle de rayon 7 m/sec.

Considérons un trapèze curviligne tel que e f g h tout entier à l'intérieur de l'intervalle D_1 D'_1. Les 24 observations qu'il contient sont certainement toutes représentées par des points intérieurs à cet intervalle. D'après ce que nous avons vu plus haut, elles sont donc certainement toutes favorables.

De même les observations contenues dans un trapèze tel que i j k l tout entier à l'extérieur de l'intervalle D_1 D'_1 sont certainement toutes défavorables.

Par contre, pour un trapèze tel que a b c d coupé par l'une des droites D_1 ou D'_1, il n'est pas possible de dire avec certitude si les observations sont favorables ou défavorables. Par exemple, dans le cas de trapèze a b c d, les 4 observations pourraient aussi bien être représentées par des points qui se trouvent près du sommet a, auquel cas elles seraient toutes défavorables ou par des points situés près du sommet c auquel cas elles seraient toutes favorables.

Une hypothèse est donc nécessaire sur la répartition des points représentatifs à l'intérieur des trapèzes curvilignes coupés par une des droites D_1 ou D'_1.

L'hypothèse la plus simple et la plus intuitive consiste à supposer que cette répartition est uniforme. Par exemple, dans le cas considéré, on constate qu'environ les 3/4 du trapèze a b c d se trouvent à l'extérieur de l'intervalle des droites D_1 D'_1. On admettra donc que, sur les 4 observations relatives à ce trapèze, 3/4 x 4 = 3 observations sont défavorables.

L'hypothèse d'une répartition uniforme des observations dans les trapèzes curvilignes répond d'ailleurs à la recommandation de l'O.A.C.I. sur les méthodes de calcul du coefficient d'utilisation. En effet, les vents étant généralement d'autant plus fréquents qu'ils sont plus faibles, les points représentatifs situés à l'intérieur d'un trapèze curviligne se trouvent généralement plus près de sa petite base que de sa grande base. En admettant une répartition uniforme des observations, on éloigne donc du centre un certain nombre d'observations, ce qui ne peut avoir comme conséquence, comme on le voit aisément, que de faire compter comme défavorables certains cas favorables. C'est ce qui a conduit à mentionner dans les commentaires de l'Annexe 14 de l'O.A.C.I. qu'à "défaut de renseignements précis sur la répartition réelle (des observations dans les diverses gammes de vitesses et directions) on admet habituellement une répartition uniforme, car ces hypothèses conduisent généralement, par rapport aux orientations de piste

les plus favorables, à une évaluation par défaut du coefficient d'utilisation".

Les principes ci-dessus permettent de dénombrer assez facilement le nombre N_2 des observations défavorables, ce qui permet de calculer le coefficient d'utilisation.

$$n = 100 \frac{N - N_2}{N}$$

Dans le cas de deux ou plusieurs directions, la méthode s'applique aussi facilement.

Exemples :

1°) Piste 24° - 204° - Vent traversier maximal : 10 m/sec.

Dénombrement des cas défavorables.

Direction 80°.. 1
" 120°.. 1
" 240° : 1 + 2 + 0,5 + 1,5.................... 5
" 260° : 2 + 5 + 7 + 6 + 11 + 14 + 1,5...... 46,5
" 280° : 1 + 1 + 1 + 1 + 4 + 7 + 12+20+12 + 4,5.. 66,5
" 300° : 2 + 2 + 3 + 6 + 6 + 5.............. 29
" 320° : 2 + 6 + 5 + 2......................... 15
" 340° : 1 + o,5................................ 1,5

Total N = ...165,5

$$n = 100 \frac{14.608 - 165,5}{14.608} = 98,867 \text{ soit } 98,9$$

2°) Pistes 24° - 204° et 77° - 257° - Vent traversier maximal: 10 m/sec.

Dénombrement des cas défavorables
Direction 300° : 2 + 2 + 1 + 1 = 6
" 320° : 2 + 6 + 4 = 12
" 340° : 1

Total N_2 = 19

$$n = 100 \frac{14.608 - 19}{14.608} = 99,869 \text{ soit } 99,9$$

3°) Pistes 24° - 204° et 77° - 257° - Vent traversier maximal: 7 m/sec.

Dénombrement des cas défavorables :

Direction	120°	:	1
"	140°	: 5 + 1 = ...	6
"	160°	: 1 + 2 = ...	3
"	280°	: 1 + 0,5 + 0,5 + 1 + 1 + 1 = ...	5
"	300°	: 2 + 2 + 3 + 6 + 5 + 3 + 6 + 1 .	28
"	320°	: 2 + 6 + 6 + 4 + 13 + 10 + 5 = .	46
"	340°	: 2 + 3 + 5 + 3 + 5 + 3 = ...	21
"	360°	: 1 + 1 = ...	2
		Total N_2	112

$$n = 100 \frac{14.608 - 112}{14.608} = 99{,}240 \quad \text{soit} \quad \underline{99{,}8}$$

b) Méthode approchée des trapèzes (figure 9)

On utilise souvent la représentation en coordonnées polaires des statistiques de la Météorologie comme si les observations de vents pour lesquels la vitesse indiquée est v étaient, en réalité, de vitesse comprise entre v et v + 1m/sec. dans le cas où les intervalles de vitesses sont de 1m/sec.

Ceci revient à remplacer, par exemple, le trapèze curviligne m n o p haché verticalement par le trapèze m' n' o' p', haché horizontalement, éloigné de 0,5 m/sec. du centre de la figure.

Cette méthode simplifie le dessin de la figure puisqu'elle évite le tracé des cercles en pointillés de rayons égaux aux nombres entiers de m/sec. augmentés de 0,5 m/sec.

D'autre part, elle est favorable à la sécurité puisque les vitesses prises en compte sont supérieures aux vitesses réelles observées.

De ce fait, elle est moins exacte que la méthode précédente, mais la différence n'est pas considérable, comme nous allons le voir en calculant à nouveau, avec cette méthode les coefficients d'utilisation des trois cas déjà étudiés avec la méthode précédente.

1°) Piste 24° - 204° - Vent traversier maximal : 10m/sec.

Dénombrement des cas défavorables.

Direction	80°	: 1 + 0,5 =	1,5
"	100°	:	0,5
"	120°	:	2
"	240°	: 1 + 2 + 0,5 + 2 =	5,5
"	260°	: 2 + 5 + 7 + 6 + 13 + 18 + 6 =	57
"	280°	: 1+1+1+1+4+4+7+12+20+13+18 =	81
"	300°	: 2 + 2 + 3 + 6 + 6 + 5 + 14 =	38
"	320°	: 2 + 6 + 6 + 3 =	=17
"	340°	: m + 1 =	2
		Total N_2 =	204,5

$$n = 100 \times \frac{14.608 - 204,5}{14.608} = 98,600 \text{ soit } \underline{98,6}$$

2°) Pistes 24° - 204° et 77° - 257° - Vent traversier maximal : 10 m/sec.

Dénombrement des cas défavorables.

Direction	300°	: 2 + 2 + 1,5 + 1,5 =	7
"	320°	: 2 + 6 + 5,5 + 1 =	14,5
"	340°	: 1 + 1 =	2
		Total N_2 =	23,5

$$n = 100 \times \frac{14.608 - 23,5}{14.608} = 99,839 \text{ soit } \underline{99,8}$$

3°) Pistes 24° - 204° et 77° - 257° - Vent traversier maximal : 7 m/sec.

Dénombrement des cas défavorables.

Direction	120°	:	1
"	140°	: 5 + 3 =	8
"	160°	: 1 + 6 =	7
"	280°	: 1 + 0,5 + 0,5 + 2+1+1+1 =	7
"	300°	: 2 + 2 + 3+6+6+4+8+4 =	35
"	320°	: 2 + 6 + 6+ 4 + 13+10+15 =	56
"	340°	: 2 + 3 + 5 + 3 + 6 + 6 =	25
"	360°	: 1 + 1 =	2
		Total N_2 =	141

$$n = 100 \times \frac{14.608 - 141}{14.608} = 99.034 \text{ soit } \underline{99,0}$$

c) Méthode simplifiée (figure 10)

Dans cette méthode, on suppose concentrées au centre de chaque trapèze toutes les observations représentées par des points intérieurs à ce trapèze.

Autrement dit, si l'on considère le trapèze a,b,c,d, on supposera que les 4 observations correspondantes sont celles de vent soufflant exactement de la direction 340° avec une vitesse de 11 m/sec.

On peut alors simplifier beaucoup le graphique, en supprimant tous les cercles et rayons tracés en poin-

tillé, et les calculs en inscrivant directement sur le graphique les nombres d'observations cumulés correspondant aux diverses vitesses dans chacune des directions considérées, c'est-à-dire les nombres qui figurent sur le Tableau II fourni par la Météorologie.

On obtient alors une figure telle que la figure 10.

Cette méthode donne, bien entendu des résultats identiques à ceux des deux méthodes précédentes pour toutes les observations contenues dans des trapèzes curvilignes entièrement à l'intérieur ou à l'extérieur des droites parallèles. Elle n'en diffère que pour les trapèzes coupés par l'une de ces droites. En ce cas, en effet, on ne procède pas, en principe, à une répartition des observations correspondantes; celles-ci sont considérées comme toutes favorables ou toutes défavorables selon que le centre du trapèze, c'est-à-dire le point où sont supposés rassemblés les points représentatifs des observations, se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur des droites parallèles. Si cette simplification n'était faite que pour un seul trapèze, il pourrait en résulter une erreur importante. Mais étant donné le nombre assez élevé des trapèzes coupés par les droites parallèles, il en résulte une certaine compensation entre les erreurs en plus et les erreurs en moins.

Il y a pourtant un cas où il est nécessaire de procéder à une répartition des observations c'est celui où une des droites parallèles passe exactement au centre du trapèze. On admettra alors que les observations correspondantes sont, pour moitié, favorables et, pour moitié, défavorables. L'inscription des nombres d'observations sous forme de résultats cumulés ne complique pas sensiblement le calcul lorsque l'on se trouve dans ce cas particulier.

Nous allons reprendre avec la méthode simplifiée, les calculs du coefficient d'utilisation dans les trois cas particuliers déjà considérés. On verra que les résultats ne diffèrent pas sensiblement de ceux fournis par la méthode des trapèzes a).

1°) Piste 24° - 204° - Vent traversier maximal: 10 m/sec.

Dénombrement des cas défavorables.

Direction	80°	:	= 1
"	120°	:	= 1
"	240°	: $1 + \frac{4}{2}$	= 3
"	260°	: $35 + \frac{29}{2}$	=49,5
"	280°		= 63
"	300°		= 24
"	320°		= 14
		Total N_2 =	155,5

$$n = 100 \times \frac{14.608 - 155,5}{14.608} = 98,963 \text{ soit } \underline{99,0}$$

2°) <u>Pistes 24° - 204° et 77° - 257° - Vent traversier maximal 10m/sec</u>.

Dénombrement des cas défavorables.

Direction 400°	:	4
" 320°	:	14
Total N_2	=	18

$$n = 100 \times \frac{14.608 - 18}{14.608} = 99,876 = \underline{99,9}$$

3°) <u>Pistes 24° - 204 et 77° - 257° - Vent traversier maximal 7m/sec</u>.

Dénombrement des cas défavorables.

Direction 140°		9
" 160°		1
" 280°	$1 + \frac{1}{2}$	1,5
" 300°		24
" 320		62
" 340		14
Total N_2	=	111,5

$$n = 100 \times \frac{14.608 - 111,5}{14.608} = 99,236 \text{ soit } \underline{99,2}$$

3,112.34 <u>Degré d'approximation</u>

Il peut être intéressant de rechercher le degré d'approximation des méthodes de calcul du coefficient d'utilisation, c'est-à-dire le nombre de décimales avec lequel on est fondé à exprimer ce coefficient.

Il est facile de trouver une limite supérieure et une limite inférieure de la valeur calculée. On supposera, bien entendu, que les observations météorologiques ont été assez nombreuses et judicieusement réparties pour donner une représentation exacte du climat.

Nous avons déjà fait observer au par.3,112.33 a) ci-dessus que les seules incertitudes dans le calcul du coefficient d'utilisation proviennent des trapèzes curvilignes tels que a b c d (fig.9) qui sont coupés par l'une des deux droites parallèles aux directions de pistes dont on détermine ce coefficient.

En supposant que toutes les observations correspondantes sont représentées, en réalité, par des points des divers trapèzes intéressés situés à l'intérieur de l'intervalle des droites parallèles, on fera l'hypothèse la plus favorable; on obtiendra une valeur par excès du coefficient d'utilisation.

En supposant, au contraire, que toutes les observations douteuses sont représentées, en réalité, par des points situés à l'extérieur de l'intervalle des deux droites, on obtiendra une valeur par défaut du coefficient d'utilisation.

Cette méthode doit d'ailleurs être appliquée avec discernement. Par exemple, dans le cas du coefficient d'utilisation de la direction 24° - 204° pour un vent traversier maximal de 7 m/sec., il ne serait certainement pas justifié, à moins de raisons spéciales, de compter comme favorables tous les cas se rapportant au trapèze s t e v qui est à peine écorné par la droite D_1.

Exemple - Pistes 24° - 204° et 77° - 257 - Vent traversier de 7 m/sec.

Valeur maximale (par excès)

Dénombrement des cas défavorables.

Direction	140°	5
"	300°	13
"	320°	41
"	340°	5
Total N_2		64

$$n = 100 \times \frac{14.608 - 64}{14.608} = 99{,}56$$

Valeur minimale (par défaut)

Dénombrement des cas défavorables.

Direction	120°	2
"	140°	9
"	160°	18
"	180°	5
"	280°	18
"	300°	55
"	320°	62
"	340°	43
"	360°	5
Total N_2		217

$$n_{min} = 100 \times \frac{14.608 - 217}{14.608} = 98{,}51$$

La différence entre les valeurs (maximale et minimale) possibles est d'environ 1%. Elle serait encore plus forte pour des coefficients de plus faible valeur. Aussi, est-il illusoire de rechercher, dans le calcul du coefficient d'utilisation, une précision que ne permet pas le mode de présentation des statistiques météorologiques.

Pratiquement, il suffit largement de calculer le coefficient d'utilisation avec une décimale entre 95 et 100% et en arrondissant au nombre entier le plus proche au-dessous de 95 %.

Pour augmenter la précision de la détermination du coefficient d'utilisation, il faudrait diminuer le nombre des obsdrvations qui ne peuvent être partagées entre cas favorables et cas défavorables sans hypothèse plus ou moins arbitraire, c'est-à-dire diminuer la surface totale des trapèzes coupés par l'une des droites parallèles. Ce résultat ne peut être obtenu qu'en diminuant la surface des trapèzes curvilignes c'est-à-dire en diminuant les intervalles de directions et de vitesses entre lesquels sont classées les observations. On est toutefois limité dans cette voie par les possibilités des appareils de mesure et par la nature même des phénomènes; pour les vitesses on peut difficilement descendre au-dessous d'intervalles de 1m/sec. Pour les directions, il serait désirable de répartir les observations en secteurs de 10°, mais ce résultat ne pourrait pas être obtenu sans un changement complet de l'appareillage existant.

3,112.4 <u>Recherche de l'orientation des directions de piste donnant le coefficient d'utilisation maximal.</u>

3,112.41 En reprenant les explications données au début du parag.3,112.33 (fig.8) on voit que, si l'on découpé une bande de papier de largeur égale à 2 u et si l'on place son axe selon la direction AB étudiée, le nombre des observations représentées par des points extérieurs à la bande de papier représente exactement le nombre des observations défavorables. Il suffit donc de compter ces observations et de faire tourner la bande de papier autour du centre C jusqu'à ce que leur nombre soit <u>minimal</u>; l'orientation de l'axe de la bande de papier sera alors celle qui donne le coefficient d'utilisation <u>maximal</u>.

Bien entendu, comme nous l'avons vu plus haut, il ne peut pas être question de représenter en coordonnées polaires toutes les observations météorologiques sur lesquelles reposent les statistiques effectuées, mais la méthode ci-dessus exposée s'adapte sans difficulté à chacune des méthodes de calcul du coefficient d'utilisation exposées au par.3,112.33, surtout à la méthode simplifiée c).

3,112.42 Toutefois, même dans le cas d'une direction de piste unique, il est bon de procéder plus systématiquement. La direction dans laquelle la piste sera construite ne pourra pas toujours être celle dont le coefficient d'utilisation est le plus élevé; d'autres considérations telles que, par exemple, le relief du site où les dégagements s'y opposeront peut-être. Aussi est-il bon de pouvoir disposer d'une vue d'ensemble plus complète des valeurs du coefficient d'utilisation en fonction de l'orientation de la piste.

Pour cela, on déterminera ce coefficient pour un certain nombre de directions, par ex.: 0°, 45°, 90°,135° ou bien 0,22° 1/2, 45°, 67° 1/2, 90°, 112 1/2, 135° et 157° 1/2 et on tracera la courbe représentative (voir fig.11) de la valeur du coefficient d'utilisation n en fonction de l'orientation. Il sera ainsi facile de déterminer l'incidence d'une rotation de la piste sur la valeur de ce coefficient.

3,112.43 Si une direction de piste ne permet pas d'obtenir le coefficient d'utilisation nécessaire, il faudra essayer de déterminer si deux directions permettent de l'obtenir.

Il faut se garder de croire que l'une de ces deux directions est celle qui, à elle seule, donnerait le coefficient le plus élevé.

Il est extrêmement rare, au contraire, que le système de deux directions qui donne le coefficient le plus élevé contienne la direction qui, à elle seule, donnerait le coefficient le plus élevé.

La recherche méthodique du système de deux directions qui donne le coefficient d'utilisation le plus élevé s'effectue comme suit (voir fig.12).

O On laissera d'abord fixe une des deux directions à 0° par exemple, et on fera tourner la deuxième direction en déterminant n en fonction de son orientation.

On obtiendra ainsi une courbe I analogue à la courbe de la figure 11 ci-dessus qui présentera un maximum M_1 .

On fera ensuite tourner la 1ère direction d'un certain angle, par exemple 45° et on tracera de la même manière une courbe II qui présentera un maximum M_2 .

On continuera jusqu'à ce que la lère direction ait tourné de 180° et on obtiendra ainsi, par exemple, un réseau de courbes, tel que I, II, III, IV, ayant des maximums M_1, M_2, M_3 et M_4 et correspondant respectivement aux orientations 0°, 45°, 90° et 135° de la lère direction.

On choisira le plus élevé de ces maximums, en l'espèce M_1 et on obtiendra :

- par le n° de la courbe (1), l'orientation de la lère direction (0°)
- par l'abscisse de point M_1 (m_1), l'orientation de la 2ème direction.

Une deuxième approximation sera peut-être nécessaire aux abords de l'orientation retenue pour la lère direction si l'on recherche une grande précision.

Remarque. Si les courbes I, II.... correspondaient à des orientations assez rapprochées les unes des autres, on trouverait deux couples de valeurs dans lesquels les orientations de la lère et de la 2ème directions seraientpermutées. On voit déjà, sur la fig.12 que le maximum M_1 correspond à des orientations voisines de celles du maximum M_4 mais dans lesquelles les positions des deux directions sont échangées. Cette observation peut faciliter les approximations dont il est question à l'alinéa précédent.

3,112.5 Remarque - Cas des aérodromes destinés à plusieurs natures de trafic.

Le plus souvent, un aérodrome est destiné à des natures de trafic relevant de plusieurs catégories de la classification française.

On trouvera ainsi, très fréquemment, les combinaisons suivantes :

- transports réguliers à longue distance et à moyenne distance: catégories A et B,
- transports réguliers à moyenne distance et à courte distance: catégories B et C,
- transports à courte distance et aéroclub : catégories C et D.

La catégorie de l'aérodrome sera la catégorie la plus élevée; par exemple, dans le premier cas ci-dessus, ce sera la catégorie A.

Mais, du fait que les appareils utilisés pour le trafic des autres catégories sont plus sensibles au vent traversier, on sera amené à calculer plusieurs valeurs du coefficient d'u-

tilisation, avec les valeurs limites de vent traversier correspondant à chacune des catégories à considérer.

Il arrivera d'ailleurs que le nombre des directions nécessaires pour obtenir un coefficient d'utilisation suffisant dans la catégorie la plus élevée soit insuffisant pour obtenir le coefficient désiré pour les autres catégories.

Par exemple, dans le premier cas ci-dessus mentionné, pour obtenir un coefficient de 95%, une seule direction sera peut-être suffisante avec un vent traversier de 13 m/sec. mais deux directions pourront être nécessaires avec un vent traversier de 10 m/sec. En ce cas, on pourra considérer que seule la piste construite dans la première direction est de catégorie A et il suffira de traiter comme une piste de catégorie B celle qui sera construite dans la seconde direction. Nous verrons, dans la suite du cours, les conséquences qui en résultent pour les diverses caractéristiques de l'aérodrome.

3,113 Dimensions des pistes et bandes d'envol

3,113.1 Définitions.

3,113.11 Pistes utilisées à vue ou aux instruments.

Certaines dimensions des pistes et bandes sont très différentes, pour un même type d'appareil suivant que les opérations que l'on envisage s'effectueront en vol à vue ou aux instruments.

Si l'approche et l'atterrissage s'effectuent sans le secours d'aucune aide radio, on dira qu'il s'agit d'une "piste à vue".

Si, au contraire, une partie de l'approche peut être effectuée, dans certaines conditions météorologiques, uniquement par le moyen d'aides radio, c'est-à-dire si le pilote peut diriger son appareil au cours de cette partie de l'approche en se guidant uniquement d'après les indications de ses instruments de bord, on dira que la piste est une "piste aux instruments".

Cette distinction entre "piste à vue" et "piste aux instruments" demande à être précisée dans certains cas limites où elle a, effectivement, donné lieu à discussion. Pour y voir clair, le mieux est de considérer les diverses natures d'approches telles qu'elles sont définies par les

règlements officiels (voir Instruction du 13 mars 1967, modifiée le 19 juin 1968 sur les Spécifications relatives à la détermination et à l'utilisation des minima opérationnels). On distingue, notamment :

a) l'approche finale radioguidée (ILS complet, GCA)

b) l'approche finale radiodirigée (par exemple approche au localizer ILS + 2 radiobornes, ou au radar de surveillance, ou au VOR-DME).

c) la percée dirigée (par exemple, approche au VOR, localizer ILS seul, gonio, NDB ou RNG)

d) la percée suivie d'évolutions réduites, à vue, appelée aussi percée suivie de tour de piste à vue.

Une piste équipée pour l'une des trois natures de manoeuvres a) b) ou c) doit être considérée comme une piste aux instruments. Par contre, on peut traiter comme une piste à vue une piste seulement équipée pour une percée suivie d'évolutions réduites, à vue.

Bien entendu, si une piste est équipée pour l'atterrissage aux instruments, elle conserve sa désignation de piste aux instruments, même lorsque les conditions météorologiques permettent d'y effectuer des opérations entièrement à vue.

Remarques 1 - On appelle quelquefois les pistes aux instruments "pistes d'atterrissage par mauvaise visibilité (en abrégé A M V).

Cette expression doit toutefois être évitée car la "mauvaise visibilité" n'a jamais pu être définie de façon précise et les termes "mauvaise visibilité" ne peuvent être employés que dans un sens général.

2 - L'O.A.C.I. a introduit la notion de "piste avec approche de précision" et utilise les définitions suivantes (Annexe 14 - cinquième édition - Mai 1969) :

a) piste avec approche aux instruments - Piste aux instruments desservie par une aide non visuelle assurant au moins un guidage en direction satisfaisant pour une approche en ligne droite.

b) piste avec approche de précision, catégorie I. Piste aux instruments desservie par un ILS ou un GCA et des aides visuelles destinées à l'approche jusqu'à une hauteur de décision de 60m et jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 800m.

c) <u>piste avec approche de précision de catégorie II</u>. Piste aux instruments desservie par un ILS et des aides visuelles destinées à l'approche jusqu'à une hauteur de décision de 30m (et jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 400m).

d) <u>piste avec approche de précision, catégorie III</u>. Piste aux instruments desservie par un ILS (aucune hauteur de décision n'étant applicable) et :

A - par des aides visuelles destinées à l'approche jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 200m;

B - par des aides visuelles destinées à l'approche jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 50m;

C - destinée à l'approche sans recours à des moyens extérieurs de repérage visuel.

Ces distinctions entre les divers types de pistes aux instruments n'interviennent, en fait, jusqu'à présent, que dans les spécifications relatives au balisage.

3,113.12 Piste principale - Pistes secondaires.

Nous avons vu au paragraphes 3,112.4 comment on pouvait déterminer les diverses directions d'envol à retenir pour un aérodrome.

Une des pistes construites dans une de ces directions sera la <u>piste principale</u> de l'aérodrome.

De nombreux éléments sont à considérer pour le choix de la piste (ou de la bande) qui sera considérée comme piste (ou bande) principale.

On peut considérer en particulier :

- l'importance du trafic absorbé, c'est-à-dire le nombre d'opérations d'atterrissage et d'envol qui s'effectuent sur la piste,
- la longueur de la piste,
- sa résistance,
- ses dégagements,
- le fait qu'elle est équipée ou non en piste aux instruments.

D'après l'instruction sur l'aménagement des bases et des routes aériennes "<u>les pistes principales sont les plus longues</u>". Elles correspondent aux meilleurs dégagements. Elles sont prises parmi les directions donnant, à conditions de dégagement égales, le plus grand coefficient d'utilisa-

tion au regard du vent traversier Elles sont, le cas échéant, équipées pour l'atterrissage par "mauvaise visibilitá".

Remarquons, à ce propos, qu'il n'y a pas de relation nécessaire entre le coefficient d'utilisation, calculé d'après le régime des vents, et l'utilisation effective d'une piste; nous avons vu, en effet, que la très grande majorité des vents ont une vitesse inférieure à la composante transversale maximale de cette vitesse et peuvent, par conséquent, être absorbés par une piste de direction quelconque.

A la troisième session de la Direction des Aérodromes, Routes aériennes et installations au sol de l'O.A.C.I. (Octobre 1947) la définition de la piste principale a donné lieu à de très longues discussions.

Celle qui semblait devoir recueillir un accord général était "la piste la plus fréquemment utilisée, normalement la plus longue".

Il est apparu, toutefois, que cette définition pouvait être erronée, par exemple, si la piste la plus utilisée est une piste courte construite pour des avions de tourisme, formant le fond du trafic, tandis que les gros appareils utilisent une autre piste, plus longue et plus résistante.

Aussi la Division a-t-elle finalement laissé à l'autorité compétente de chaque Etat intéressé, le soin de définir, sur un aérodrome donné, quelle est la piste principale et cette question n'a pas été soulevée, depuis, devant la Division.

Il n'en demeure pas moins que, suivant l'opinion générale sur un aérodrome normalement conçu, et ne présentant pas de conditions exceptionnelles, la piste principale sera, à la fois, celle qui sera utilisée le plus souvent, celle qui sera la plus longue, celle qui sera destinée aux avions les plus lourds, celle qui sera la mieux dégagée et celle qui sera utilisée dans les conditions de mauvaise visibilité.

D'ailleurs, le véritable problème n'est pas de désigner, parmi les pistes existantes d'un aérodrome, celle que l'on considère comme la piste principale, une telle désignation n'ayant pas d'intérêt pratique. Il réside dans le choix, parmi les diverses directions d'envol retenues, de celle selon laquelle sera construite la piste la plus longue qui sera la piste principale, selon la définition de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes. Cette définition montre que, dans ce choix, il faut tenir compte, à la fois des dégagements et du coefficient d'utilisation.

Les pistes autres que la piste principale sont les pistes secondaires.

Une remarque importante doit être faite à leur sujet dans le cas des aérodromes destinés à plusieurs catégories de trafic. Dans ce cas, il peut être nécessaire de prévoir des pistes secondaires :

- soit parce que la piste principale, à elle seule, n'a pas un coefficient d'utilisation suffisant, pour le trafic de la catégorie la plus élevée,

- soit parce que l'ensemble des directions déterminées pour fournir le coefficient d'utilisation nécessaire dans la catégorie la plus élevéen'a pas un coefficient d'utilisation suffisant pour la ou les autres catégories.

Les pistes secondaires du premier type sont de même catégorie que la piste principale.

Les pistes secondaires du second type sont de catégorie inférieure.

Considérons par exemple, un aérodrome destiné aux transports réguliers à moyenne distance et aux transports à courte distance. Supposons que le régime des vents soit tel qu'avec un vent traversier de 10 m/sec. on obtienne un coefficient d'utilisation de 92% avec une direction et de 98% avec deux directions tandis qu'avec un vent traversier de 7 m/sec. le coefficient d'utilisation de ces deux directions soit de 85%, mais que l'adjonction d'une troisième direction permette de le porter à 95%; on sera amené à prévoir :

Catégorie B

1 piste principale qui sera de catégori
1 piste secondaire de catégorie B dans la deuxième direction
1 piste secondaire de catégorie C dans la troisième direction.

3,113.2 Performances

La détermination de la longueur d'une piste conduit à considérer, comme nous le verrons plus loin, un certain nombre de performances dont l'étude ne relève pas du cours d'infrastructure mais qu'il est utile de rappeler ici.

3,113.21 Définitions

3,113.211 Performances au décollage.

Considérons la trajectoire normale d'un appareil, tous ses moteurs fonctionnant normalement et soit A D' E' cette trajectoire (figure 13), la surface de décollage étant supposée horizontale.

Si un moteur s'arrête brusquement en un point P de la trajectoire A D' E', le pilote aura deux possibilités:

- ou bien continuer son vol, ce qui suppose qu'il puisse passer à une altitude suffisante au-dessus de l'extrêmité de la bande et des obstacles,

- ou bien interrompre le décollage ce qui suppose qu'il puisse s'arrêter, sur la piste, avant son extrêmité.

On appelle point critique le point où l'on suppose que le moteur le plus défavorable cesse de fonctionner, lorsque l'on détermine les performances au décollage.

Dans l'hypothèse d'une panne de moteur au point critique (figure 14), les définitions intéressant notre sujet sont les suivantes :

La vitesse de décision (V1) est la vitesse choisie par l'exploitant à laquelle la défaillance instantanée et complète du moteur critique est supposée décelée par le pilote. La vitesse de décision doit être supérieure à la plus faible vitesse à laquelle l'aéronef reste manoeuvrable au sol ou près du sol, en cas de défaillance du moteur critique;

La vitesse de cabrage (V_R) est la vitesse à laquelle le pilote amorce le cabrage de l'avion pour permettre le relevage de l'atterrisseur avant;

La vitesse de décollage (V_{LOF}) est la vitesse à laquelle l'avion quitte le sol;

La vitesse de montée initiale (V_2) est la vitesse minimale à laquelle un pilote est autorisé à effectuer sa montée après avoir atteint une hauteur de 10m70 (35 pieds) au-dessus de la surface de décollage au cours d'un décollage avec le moteur critique hors de fonctionnement;

La distance de roulement au décollage est la plus grande des deux distances suivantes :

- en cas de panne d'un moteur au point critique (figure 14), distance d_1 entre, d'une part le point de départ A du décollage et, d'autre part, le point équidistant du point où la vitesse V_{LOF} est atteinte et du point où l'avion atteint une hauteur de 10m70 au-dessus de la surface de décollage;

- tous les moteurs étant en fonctionnement (figure 13), 1,15 fois la distance d'_1 entre, d'une part, le point de départ A du décollage et, d'autre part, le point équidistant du point où la vitesse V_{LOF} est atteinte et du point où l'avion atteint une hauteur de 10m70 au-dessus de la surface de décollage;

La distance accélération-arrêt d_2 est la somme des distances nécessaires pour,

- accélérer l'avion depuis le point de départ A du décollage jusqu'à la vitesse à laquelle le moteur critique est censé être brusquement mis hors de fonctionnement;

- aller du point où la défaillance du moteur critique est censée se produire au point où la vitesse de décision V_1 est atteinte;

- immobiliser l'avion à partir du point où la vitesse de décision est atteinte;

La distance de décollage est la plus grande des deux distances suivantes :

- en cas de panne d'un moteur au point critique (figure 14), distance d_3 entre le point de départ A du décollage et le point où l'avion atteint une hauteur de 10m,70 au-dessus de la surface de décollage;

- tous les moteurs étant en fonctionnement (figure 13), 1,15 fois la distance d'_3 entre le point de départ A du décollage et celui où l'avion atteint une hauteur de 10m,70 au-dessus de la surface de décollage.

En cas de défaillance du moteur le plus défavorable au cours du décollage, si cette défaillance est décelée avant la vitesse de décision V_1, le pilote doit freiner jusqu'à l'arrêt de l'avion; si elle est décelée après que la vitesse de décision V_1 soit atteinte, le pilote doit continuer le décollage. Si elle est décelée au moment même où la vitesse de décision V_1 est atteinte, le pilote a le choix soit de freiner l'avion jusqu'au point Y (figure 14), soit de continuer à accélérer jusqu'à la vitesse de cabrage V_R, atteinte en un point C où il cabre l'avion qui décolle à la vitesse de décollage V_{LOF} en un point D, après quoi l'avion passe, en Z, à l'extrémité de la distance de décollage, à 10m,70 au-dessus de la surface de décollage.

3,113.212 - Performances à l'atterrissage.

La seule performance à considérer, à l'atterrissage, est la distance d'atterrissage.

Deux définitions sont admises :

Méthode A - La distance d'atterrissage est la plus grande des deux distances suivantes :

- 1,15 fois la distance horizontale nécessaire pour atterrir, avec tous les moteurs en fonctionnement, et s'immobiliser, mesurée entre le point où l'avion atteint une hauteur de 10m,70 au-dessus de la surface d'atterrissage et le point où il est immobilisé;

- 1,10 fois la distance horizontale nécessaire pour atterrir, avec le moteur critique hors de fonctionnement, et s'immobiliser, mesurée également à partir du point où l'avion atteint une hauteur de 10m,70 au-dessus de la surface d'atterrissage.

Méthode B (figure 15) - La distance d'atterrissage est la distance horizontale nécessaire pour atterrir et amener l'avion à l'arrêt complet à partir d'un point situé à 15m au-dessus de la piste.

3,113.22 - Remarque -

La notion de distance accélération-arrêt ainsi que les règles concernant cette distance et la trajectoire de décollage ont été élaborées par l'O.A.C.I. en vue de la définition des qualités de navigabilité des aéronefs (Division AIR) et des conditions de l'exploitation technique des services aériens (Division O P S). Ce ne sont donc pas, à proprement parler des notions et des règlements relatifs à la conception des aérodromes. Cependant, comme nous allons le voir, il est impossible de définir, dans des conditions satisfaisantes, certaines caractéristiques physiques des aérodromes sans faire appel à ces règles qui gouvernent les performances des appareils.

Il ne faut pas perdre de vue également, que ces règles ne s'appliquent qu'aux services internationaux réguliers de transport aérien et aux aéronefs effectuant des transports internationaux non réguliers contre rémunération; une grande partie du trafic aérien leur échappe encore. Il est normal cependant que, dans la construction des aérodromes, il soit tenu compte des règles d'exploitation technique relatives aux services aériens réguliers internationaux car ce sont celles qui comportent le maximum de sécurité.

3,113.3 Détermination de la longueur de la piste principale dans la conception classique.

3,113.31 Principe fondamental.

La conception que nous allons exposer maintenant est celle dite de la "piste classique" par opposition à celle des "pistes non classiques" qui est exposée plus loin au par. 3,2.

Ainsi que nous le verrons, une "piste classique" n'est qu'un cas particulier des "pistes non classiques". Nous croyons néanmoins nécessaire de faire d'abord un exposé complet sur les pistes classiques car ce sont celles qui sont le plus fréquemment construites.

Le principe fondamental sur lequel repose la détermination de la longueur d'une piste est que l'on doit faire en sorte que les règles d'exploitation (OPS) puissent être observées par les appareils auxquels cette piste est destinée.

Ces règles sont les suivantes dans la conception classique

Pour le décollage -

a) la distance accélération-arrêt déterminée d'après le manuel de vol de l'avion ne sera pas supérieure à la longueur utilisable de la bande (ou du chenal d'envol)

b) la distance de décollage déterminée d'après le manuel de vol de l'avion ne sera pas supérieure à la longueur de la bande (ou du chenal d'envol).

Nous verrons que, dans la conception des pistes classiques la longueur de la bande ne dépasse que de peu la longueur de la piste. En appelant celle-ci L on doit donc avoir, avec les notations utilisées plus haut :

$$L \geqslant d_2$$

et $$L \geqslant d_3$$

Pour l'atterrissage

Si la distance d'atterrissage a été déterminée par la méthode A, elle ne doit pas être supérieure à la longueur de la piste, ce que l'on peut écrire :

$$L \geqslant D_{att.}$$

Si elle a été déterminée par la méthode B, elle ne doit pas être supérieure à 60% de la longueur utile de la piste, ce que l'on peut écrire :

$$L \geqslant \frac{D'_{att}}{0,6} \quad \text{ou} \quad 1,67 \ D'_{att}$$

Lorsqu'il s'agit d'un aérodrome de dégagement, on peut se contenter d'une longueur de piste un peu plus faible, à savoir :

$$L \geqslant 0,95 \ D_{att} \quad \text{(Méthode A)}$$

ou $1,43 \ D'_{att}$ pour les avions à hélices (Méthode B).

3,113.32 - Longueur de piste équilibrée.

Il est intéressant de rechercher comment varient, pour un appareil donné, la distance accélération-arrêt et la distance de décollage lorsque l'on modifie la vitesse de décision et les conséquences qui en résultent pour la longueur de la piste.

Supposons que l'on parte d'une situation où la vitesse de décision a été choisie de telle sorte que la distance accélération-arrêt soit égale à la distance de décollage. La trajectoire de l'avion sera, par exemple, ADE (figure 16) dans le cas d'une panne de moteur survenant au point critique et la longueur de piste nécessaire sera AY = AZ.

Supposons maintenant que l'on choisisse une vitesse de décision atteinte en un point B_1, plus éloigné que le point B de l'origine A de la piste. L'appareil passera en B_1 à une vitesse plus élevée que dans le cas précédent puisqu'il aura, sur le parcours BB_1, un moteur de plus en fonctionnement; sa trajectoire de décollage passera au-dessus de DE et par conséquent le point E_1, où il atteindra l'altitude de 10m,70 au-dessus de la surface de décollage sera rapproché de l'origine.

Par contre, la distance accélération-arrêt sera augmentée puisque d'une part $AB_1 > AB$ et, d'autre part, la distance pour arrêter l'appareil à partir de B_1 sera plus élevée que la distance pour l'arrêter à partir de B, la vitesse en B_1 étant supérieure à la vitesse en B.

La nouvelle distance accélération-arrêt sera AY_1, le point Y_1 étant plus éloigné que Y de l'origine de la bande. Au total pour satisfaire aux règles énoncées plus haut, il faudra une piste plus longue.

On verrait de même que, si la vitesse de décision est diminuée, le point E vient en E_2 et le point Z en Z_2 , mais que dans ce cas également la longueur de la piste nécessaire est plus élevée que AZ puisqu'elle est alors égale à la distance du point A à la projection verticale de E_2.

On voit que, compte tenu des règles relatives au décollage, la longueur de piste nécessaire est minimale lorsque la vitesse de décision est choisie de telle sorte que la distance accélération-arrêt soit égale à la distance de décollage. C'est pourquoi dans la conception classique, le point où est atteinte la vitesse critique était généralement choisi par le constructeur, de manière à réaliser l'égalité de ces deux distances.

Pour la même raison la longueur de piste nécessaire, dans la conception classique, s'appelle, en anglais, "balanced field length" que l'on peut traduire par "longueur de piste équilibrée"; elle rend égales la distance accélération-arrêt et la distance de décollage.

3,113.33 Application au cas d'un aérodrome destiné à un trafic défini.

Le problème à résoudre consiste à déterminer la longueur de piste nécessaire à un aérodrome donné, destiné à un trafic donné.

L'étude de ce trafic conduit à considérer un certain nombre de types d'appareils qui fréquenteront l'aérodrome et dont on connaître les performances : distance accélération-arrêt et distance d'atterrissage.

Il sera souvent nécessaire de faire des prévisions d'avenir. Pour céla on sera conduit à rechercher les développements probables du trafic, dans l'avenir, ainsi que l'évolution probable des performances des appareils qui assureront ce trafic.

Ces recherches, souvent difficiles et aléatoires, devront nécessairement se traduire, pour présenter une valeur pratique, par l'indication de la distance accélération-arrêt et de la distance d'atterrissage de l'appareil le plus exigeant pour lequel la piste sera conçue.

Si l'on dispose, pour cet appareil, d'abaques donnant ses performances au décollage et à l'atterrissage en fonction des conditions locales telles que l'altitude, la température et la pente de la piste, l'application de ces abaques donnera facilement la longueur de piste nécessaire.

Il est rare toutefois que l'on puisse disposer de tels renseignements plus de quelques années à l'avance.

Cette méthode sera donc réservée, en principe, aux projets à court terme, 2 à 5 ans au maximum, tels que, par exemple, un allongement de piste en vue de la mise en service d'un nouveau type d'aéronefs.

Les Réunions Régionales de Navigation Aérienne de l'O.A.C.I. donnent, en général, des renseignements intéressants à cet égard.

Le plus souvent, on ne disposera pas de renseignements assez précis et complets pour appliquer la méthode précédente, notamment aux prévisions à long terme qui sont indispensables pour établir les plans de masse des aérodromes.

Aussi, en général, on procède de la manière suivante.

On détermine d'abord la longueur de base de la piste qui est la longueur nécessaire au niveau de la mer, en atmosphère-type, pour une piste horizontale, c'est-à-dire dans les conditions ci-après :

- pression atmosphérique de 1.013,25 millibars;
- température de 15°C;
- humidité nulle;
- pente nulle.

Les performances considérées pour déterminer la longueur de base sont celles qui correspondent à ces conditions.

On applique ensuite, à la longueur de base, des coefficients de correction de longueur de piste pour tenir compte du fait que les conditions réelles d'utilisation de la piste sont différentes de celles auxquelles correspond la longueur de base.

3,113.34 Longueur de base des pistes des diverses catégories de la classification française.

C'est en considérant les performances des divers types d'appareils utilisés actuellement pour le trafic correspondant aux diverses catégories et l'évolution probable de ces performances dans l'avenir que l'on est parvenu à définir les longueurs de pistes et de bandes correspondant aux diverses catégories d'aérodromes que comporte la classification française.

A chaque nature de transports (longue distance, moyenne distance,etc...) correspondent, en effet, un certain nombre d'appareils plus particulièrement adaptés à la longueur d'étape à parcourir. Ceci est surtout vrai pour les long -courriers auxquels correspondent les aérodromes de catégorie A et pour les moyen -courriers auxquels correspondent les aérodromes de catégorie B. Les aérodromes de catégorie C sont souvent fréquentés par des appareils susceptibles de couvrir des longueurs d'étape correspondant à la catégorie B mais, alors, ils ne sont généralement pas utilisés à pleine charge et peuvent se contenter de longueurs de pistes voisines de celles qu'exigent les appareils conçus pour les transports à courte distance.

En général, ce sont les conditions de décollage et, par conséquent, la règle relative à la distance accélération-arrêt, qui déterminent la longueur de piste nécessaire. La distance d'atterrissage a été, cependant, la performance critique pour certains multimoteurs anciens et il ne faut pas perdre de vue qu'elle peut l'être également pour certains appareils commerciaux futurs, à vitesse d'atterrissage élevée.

Si on groupe les appareils conçus ou normalement utilisés pour les natures d'activités correspondant aux diverses catégories de la classification française, on constate que les distances accélération-arrêt de chaque groupe d'appareils sont assez voisines les unes des autres et qu'elles sont, en général, d'autant plus grandes que la catégorie est plus élevée.

Le tableau suivant donne quelques exemples.

Type d'appareil	Distance accélération -arrêt à pleine charge
Boeing 747	3.250 m
Boeing 707 - 300	3.250 m
Douglas DC.8-30	3.050 m
Bac VC-10	2.550 m
Lockheed 1649	1.900 m
Douglas DC. 6	1.820 m
Caravelle SE 210...................	1.800 m
Boeing 727-00......................	1.800 m
Vickers Vanguard...................	1.720 m
Breguet 763 - Deux Ponts...........	1.720 m
Douglas DC-3	1.350 m
Convair 340/440	1.360 m
Nord. 262	975 m
Beechcraft C 55 "Baron"	820 m
Jodel DR-1 050 (1)	500 m
M.S. Rallye Commodore (1)	395 m

(1) Pour ces deux appareils qui sont des monomoteurs, la distance indiquée est la distance de décollage (obstacle de 15m).

On a tiré, de comparaisons de cette nature, les conclusions résumées dans le tableau suivant qui donne les limites entre lesquelles doit varier, normalement la longueur de base de la piste principale des aérodromes, suivant la catégorie à laquelle ils appartiennent.

Catégories d'aérodromes	Longueur de base de la piste principale		
	Optimum	Minimum désirable	Minimum absolu
A	3.000 m	2.500 m	2.100 m
B	2.100 m	1.800 m	1.500 m
C	1.500 m	1.000 m	900 m
D	900 m	740 m	390 m

Si on rapproche les valeurs indiquées, par ce dernier tableau, pour l'optimum de chaque catégorie, de la distance accélération-arrêt à pleine charge de certains long -courriers ou moyen -courriers modernes il semblerait justifié d'augmenter l'optimum des catégories A et B en le portant, par exemple, à 3.500m pour la catégorie A et à 2.400m pour la catégorie B. De même, il est certain qu'une longueur de base de 1.500m sera insuffisante pour le Mercure, bien que cet avion soit conçu pour les transports à courte distance et soit un véritable court-courrier.

Il serait donc logique d'augmenter d'environ 15% la longueur de base optimale des trois catégories A,B et C. Il est douteux cependant qu'une telle mesure intervienne prochainement car elle aurait de nombreux inconvénients :

a - Elle ferait disparaître la correspondance parfaite existant actuellement entre les limites des longueurs de base des catégories A,B et C et des lettres d'identification A, B et C du système de référence de l'O.A.C.I.;

b - Elle conduirait à revoir de nombreuses spécifications des catégories A, B et C;

c - De nombreux plans de masse et plans de servitudes établis avec les spécifications actuelles devraient être revus sans que la nécessité en soit toujours démontrée, car les avions qui ne peuvent se satisfaire des longueurs de base actuelles sont encore peu nombreux et ne sont pas toujours utilisés à pleine charge.

Aussi, en pratique, procède-t-on de la manière suivante.

En principe, on choisit pour la longueur de base de la piste principale l'optimum de la catégorie à laquelle appartient l'aérodrome choisie d'après la nature du trafic auquel il est destiné.

Si le site ne permet pas d'implanter une piste de cette longueur, on examine si l'on peut se contenter d'une longueur plus faible, compte tenu des renseignements que l'on peut recueillir sur le trafic futur de l'aérodrome. On s'efforce, en tous cas, de ne pas descendre au-dessous du minimum désirable et, en aucun cas, on ne descend au-dessous du minimum absolu.

Si, par contre, on prévoit l'utilisation d'un type d'appareil bien déterminé qui, compte tenu des longueurs d'étape qu'il effectuera au départ de l'aérodrome, ne peut pas se contenter de l'optimum de la catégorie de cet aérodrome, on adoptera une longueur de base supérieure à l'optimum. D'après ce que nous avons vu plus haut, il ne sera jamais nécessaire de dépasser cet optimum de plus d'environ 15%. Dans les cas, très rares actuellement, où l'optimum de la catégorie dans laquelle son trafic a fait classer l'aérodrome serait insuffisant et où l'on serait ainsi amené à adopter une longueur de base supérieure à cet optimum, il faudrait adopter, pour les autres spécifications intéressant la piste principale, les valeurs et autres règles applicables à la catégorie correspondant à la longueur de base adoptée.

3,113.35 Corrections de longueurs de pistes.

3,113.351 Généralités.

Les longueurs de pistes principales indiquées pour les diverses catégories d'aérodromes, tant dans la classification française que dans le système de référence de l'O.A.C.I. ne sont valables que dans les conditions ci-après :

- Pression atmosphérique : 1.013,25 millibars
- Température extérieure : 15°C
- Degré hygrométrique : nul
- Piste horizontale

Ces longueurs sont appelées, comme nous l'avons vu, longueurs de base.

Lorsque les conditions de pression, de température, d'humidité et de pente ci-dessus indiquées ne sont pas remplies, ce qui est le cas général, il convient d'apporter certaines corrections à la longueur de base de la piste, car les performances des appareils sont modifiées.

Le problème posé est d'ailleurs très complexe et n'a pas encore été résolu de façon pleinement satisfaisante.

Les diverses variables à considérer influent sur les performances des appareils de la manière suivante :

A/ Pour un appareil de dimensions et de poids donnés, la vitesse minimale de sustentation et, par conséquent la vitesse de décollage, varie comme l'inverse de la racine carrée de la densité de l'air :

$$V \min = \frac{A}{\sqrt{\delta}}$$

Les influences de la pression et de la température de l'air, supposé sec, sur la portance de la cellule se combinent donc pour intervenir sous la forme d'une seule variable, la densité de l'air :

B/ La puissance des moteurs varie avec la pression, la température et l'humidité de l'air. Contrairement à ce qui se passe pour la portance de la cellule, les trois variables ci-dessus agissent indépendamment sur la puissance des moteurs. L'influence de ces trois variables est d'ailleurs très différente suivant les divers types de moteurs :

a) pour les moteurs à pistons, on peut distinguer trois cas:

1°) les moteurs à compresseur et à radiateur d'air, La puissance au décollage de ces moteurs est indépendante de la pression et de la température et varie seulement avec l'humidité de l'air;

2°) les moteurs à compresseur, sans radiateur d'air. La puissance au décollage de ces moteurs est indépendante de la pression, mais varie avec la température et l'humidité;

3°) les moteurs sans compresseur, ni radiateur d'air dont la puissance varie avec la pression, la température et l'humidité. Les lois de variation de la puissance en fonction de ces trois variables, sont d'ailleurs encore assez mal connues et il existe plusieurs formules pour les exprimer;

b) pour les moteurs à réaction, les lois suivant lesquelles la pression, la température et l'humidité influent sur leur fonctionnement, sont aussi assez différentes, selon le type de moteur.

On admet toutefois que les moteurs à réaction sont au moins deux fois plus sensibles que les moteurs à pistons aux variations de température;

c) le profil en long de la piste introduit, suivant les cas une composante retardatrice ou accélératrice de la pesanteur, pendant la période de roulement de l'appareil, avant décollage.

Après décollage, le profil en long intervient dans la détermination de la distance à parcourir pour atteindre une altitude de 10m70 au-dessus de la piste.

Il intervient aussi, non seulement pendant la période d'accélération, mais également, dans le calcul de la distance accélération-arrêt, dans ladétermination de la distance nécessaire pour arrêter l'appareil, à partir de la vitesse de décision.

L'exposé ci-dessus montre la complexité du problème à résoudre. Elle est encore augmentée du fait qu'au-dessus d'une certaine altitude, de l'ordre de 1500m, on peut être amené à limiter le poids au décollage pour tenir compte de conditions concernant la montée, ce qui limite, indirectement la longueur de piste nécessaire. Enfin, la longueur de piste nécessaire peut varier selon le règlement de navigabilité qui est appliqué.

En fait d'ailleurs, les difficultés que la variation des performances des appareils pose au constructeur d'aérodrome et à l'exploitant ne sont pas les mêmes.

Pour l'exploitant, il s'agit de déterminer si un vol donné peut être entrepris avec une sécurité suffisante, eu égard aux conditions atmosphériques du moment ou aux conditions les plus probables et de fixer en conséquence le poids au décollage, en limitant, si c'est nécessaire, la charge marchande.

Pour le constructeur d'aérodrome, il s'agit de déterminer les dimensions d'un aérodrome de telle sorte que cet aérodrome puisse recevoir le trafic auquel il est destiné, avec des conditions météorologiques prévisibles, mais en éliminant les cas exceptionnels.

Ceci explique que, dans la construction des aérodromes on ait tendance à adopter des règles assez générales pour les corrections de longueurs de piste, sans tenir compte des lois particulières selon lesquelles varient les performances du matériel volant, en fonction des diverses variables considérées (pression atmosphérique, température et humidité de l'air, pente de la piste).

Le problème de la correction de longueur des pistes a fait l'objet d'études générales parmi lesquelles on peut citer celles de l'Institut du Transport Aérien (ITA) qui lui a consacré ses notes de travail 112-113 et 117-118.

L'I.T.A. a étudié successivement le cas des quadrimoteurs et celui des bimoteurs et examiné l'influence de la température, de la pression et de l'humidité de l'atmosphère sur les performances au décollage des appareils.

Cette étude déjà ancienne a perdu beaucoup de son intérêt avec le développement de l'aviation à réaction, du fait qu'elle ne concernait que les appareils à moteurs à pistons. On s'y reportera en cas de besoin.

Nous donnerons toutefois, ici, quelques résultats concernant l'influence de l'humidité sur les performances des appareils à moteurs à pistons, car il n'existe pas de formule officielle de correction de longueur de piste en fonction de l'humidité.

Rappelons d'abord que l'humidité atmosphérique est souvent exprimée par le degré hygrométrique de l'atmosphère qui est le rapport $\frac{f}{F}$ de la tension de vapeur existante à la tension de vapeur saturée correspondant à la température existante t. Pour passer du degré hydrométrique à la tension de vapeur existante, il suffit de connaître F en fonction de t, ce que donnent des tableaux ou abaques. C'est ainsi, par exemple, que la tension de vapeur saturée à 30° étant F = 31mm/de mercure, un degré hygrométrique de 95 %, à la température de 30°, signifie que la tension de vapeur $f = \frac{95}{100} \times 31 =$ environ 29,5 m/m de mercure, tension de vapeur qui servira à déterminer la correction de longueur de piste.

Les résultats des notes de travail 112-113 et 117-118 de l'ITA peuvent être résumés comme suit, en ce qui concerne les corrections de longueur de piste en fonction de l'humidité, pour tenir compte des performances des avions à moteurs à pistons:

a) la distance accélération-arrêt est augmentée de 5% par une augmentation de tension de vapeur d'eau de
- 22,5 à 33,5 m/m de mercure pour les quadrimoteurs,
- 38 m/m de mercure pour les bimoteurs,

b) la distance de décollage (distance entre le point d'attente et le point où l'appareil passe à 15m au-dessus du niveau de la piste supposée horizontale), est augmentée

de 5% par une augmentation de tension de vapeur d'eau de:

- 11 m/m de mercure pour les quadrimoteurs,
- 8,8 m/m de mercure pour les bimoteurs.

Les calculs de l'ITA relatifs à l'effet de l'humidité sur la distance de décollage ont été assez bien vérifiés expérimentalement sur le quadrimoteur HASTING I (voir circulaire 15-AN/12 de l'O.A.C.I.) Les expériences faites sur cet appareil indiquent, en effet, que la distance de décollage doit être augmentée de 17% pour une teneur en eau de l'atmosphère de 2,5%, soit 30 m/m de tension de vapeur d'eau sous la pression atmosphérique de 760 m/m. La formule de l'ITA donnerait une correction de :

$$\frac{30 \text{ m/m}}{11 \text{ m/m}} \times 5\ \% = \underline{14}\ \% \text{ environ}$$

3,113.352 - Règles pratiquement utilisées

Règles de correction de longueur de pistes données par l'O.A.C.I.

Pour l'altitude, l'O.A.C.I. recommande de majorer la longueur de base de 7 % par tranche de 300m d'altitude géographique.

Pour la température, l'O.A.C.I. recommande de majorer la longueur déjà corrigée en fonction de l'altitude, de 1% par degré centigrade de différence positive entre la température de référence de l'aérodrome et la température en atmosphère type à l'altitude considérée.

La température de référence est, en principe, la température moyenne diurne du mois le plus chaud, c'est-à-dire du mois pour lequel la moyenne des températures moyennes quotidiennes est maximale. Toutefois, les statistiques de la Météorologie ne donnant pas la température moyenne diurne (c'est-à-dire de jour), on prend, comme température de référence la valeur suivante qui, sous presque tous les climats, est peu différente de la moyenne diurne du mois le plus chaud.

$$T_1 + \frac{T_2 - T_1}{3} \quad \text{où}$$

T_1 est la température moyenne quotidienne, c'est-à-dire calculée sur 24 heures du mois le plus chaud,
T_2 est la moyenne des maxima quotidiens du mois le plus chaud.

Il convient de souligner que, étant donné la manière

dont sont définies les corrections d'altitude et de température, les coefficients de correction se multiplient. Par exemple, si la correction d'altitude est de 10% et celle de température de 15%, la longueur de base de la piste devra être multipliée par 1,10 x 1,15 = 1,265, soit une majoration totale de 26,5 supérieure à (10 + 15) %.

D'autre part, l'O.A.C.I. recommande, dans le cas où la correction totale d'altitude et de température dépasse 35%, de déterminer les corrections à appliquer "au moyen d'une étude particulière", c'est-à-dire en tenant compte des performances réelles du matériel auquel l'aérodrome est destiné. Nous verrons plus loin combien cette recommandation est justifiée.

Pour la piste, l'O.A.C.I. recommande, pour les pistes dont la lettre d'identification est A, B ou C, d'appliquer à la longueur déjà corrigée en fonction de l'altitude et de la température, une correction de 10% par tranche de 1% de la pente effective.

La pente effective (figure 17) est le quotient de la différence entre les niveaux maximal et minimal de la piste, par la longueur de la piste.

La prise en considération de la pente effective plutôt que de la pente moyenne est une tentative faite pour tenir compte des irrégularités du profil en long. Si on considère, par exemple, une piste dont le profil en long est tel que celui du haut de la figure 17, sa pente moyenne est nulle et, par conséquent, la correction de pente basée sur la valeur de la pente moyenne est également nulle. Or, il est évident qu'un tel profil en long augmente la distance accélération-arrêt puisque, en gros, la composante de la pesanteur parallèle à la surface de la piste est retardatrice pour la partie accélération de ladite manoeuvre et accélératrice pour la manoeuvre d'arrêt.

Cependant, une étude récente faite aux Etats-Unis a montré qu'en pratique, compte tenu du profil en long réel des aérodromes existants, une correction fondée sur la pente moyenne était plus satisfaisante qu'une correction reposant sur la pente effective.

L'O.A.C.I. recommande en outre, de tenir compte de l'humidité et de la nature de la surface de la piste mais ne donne aucune formule à cet effet.

L'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes prescrit d'augmenter les longueurs de pistes (ou de bande gazonnée) :

a) de 7 % par tranche de 300m d'altitude géographique,
b) de 1 % par degré centigrade de différence positive entre la température de référence de l'aérodrome considéré et la température en atmosphère type à l'altitude de l'aérodrome,

c) en fonction de la pente moyenne (p) de la piste ou de la bande d'un pourcentage n ayant les valeurs suivantes:

- pour les pistes des aérodromes des catégories A,B,C et les pistes de catégorie D :

$$n = 3{,}5p \text{ si } p \leqslant 1\ \%$$

$$n = 5p - 1{,}5 \text{ si } p > 1\ \%$$

- pour les bandes gazonnées des aérodromes de catégorie D, lorsqu'ils n'ont pas de piste :

$$n = 7{,}5\ p$$

La température de référence est définie comme pour l'application de la formule recommandée par l'O.A.C.I.

Ici encore, il faut multiplier les coefficients de correction.

Exemple d'application.

Altitude 600m;
Températures du mois le plus chaud
moyenne quotidienne : 18°
moyenne des maxima diurnes : 27°

Pente moyenne : 0,8 %

Correction d'altitude

$$7 \times \frac{600}{300} = 14\ \%$$

Correction de température

Température de référence $T = 18 + \frac{27 - 18}{3} = 21°$

Température en atmosphère type à 600m d'altitude :
$15 - 0{,}0065 \times 600 = 11°$
Correction : $21 - 11 = 10\ \%$

Correction de pente

$3{,}5 \times 0{,}8 = 2{,}5$ soit 3 %

Coefficient de correction global :

$1{,}14 \times 1{,}10 \times 1{,}03 = 1{,}2916$ soit 1,29

Il faut donc majorer la longueur de base de 29 % (et non de 14 + 10 + 3 = 27%, somme des 3 coefficients de correction).

Les corrections d'altitude et de température sont identiques à celles recommandées par l'O.A.C.I. et sont satisfaisantes dans les cas courants.

Par contre, les corrections de pente prévues par l'Instruction paraissent insuffisantes. On constate, en effet, en consultant les manuels de vols de quelques appareils que la correction à appliquer pour une pente de 1%, au niveau de la mer par vent nul, l'appareil étant au voisinage de la pleine charge est la suivante :

Types d'appareils	Température de l'air	
	15°	30°
Boeing 707-320	4,8 %	6 %
Douglas DC.8 - Continental (moteurs JT3-06).......	6,4 %	7 %
Vickers-Viscount 810	7 %	7 %
Bristol-Britannia 320 ...	9 %	9 %
SE 210 Caravelle.........	9 %	9,4 %

La règle donnée par les instructions en vigueur aux Etats-Unis (Airport Design) qui prévoit une correction de 20% pour une "pente effective" de 1 % paraît au contraire, trop sévère.

L'usage britannique qui consiste à majorer la longueur de piste de 4 à 5 pour cent chaque fois que la pente augmente de 0,5, ce qui revient à une majoration de longueur de 8 à 10% pour 1% de pente, paraît plus satisfaisant.

La correction de 10% pour 1% de pente, recommandée par l'O.A.C.I. paraît un peu forte surtout si on l'applique à la pente effective.

3,113.353 - Vérifications

Devant les difficultés que présente l'établissement de formules générales, on peut se demander s'il ne serait pas plus rationnel de déterminer les corrections qui doivent être apportées à la longueur d'une piste donnée, d'après les performances des appareils dont on peut prévoir qu'ils utiliseront cette piste.

Ce serait, en effet, préférable, mais c'est rarement possible, surtout dans les études de plan de masse qui doivent tenir compte des besoins à long terme qui seront satisfaits par des appareils futurs, dont, par conséquant, les manuels de vol n'existent pas encore.

Il peut être intéressant, par contre, de comparer, pour des appareils existants, les résultats donnés par les formules de correction à ceux tirés des manuels de vol.

Quelques essais effectués dans cette voie ont été pleins d'enseignements.

Considérons par exemple les trois types d'avions à réaction et le quadrimoteur ci-après :

Boeing 707-320
Comet lV
Caravelle
DC 4

Si nous nous plaçons en <u>atmosphère type</u> les longueurs de pistes nécessaires à diverses altitudes, d'après le manuel de vol et le pourcentage d'allongement correspondant sont donnés par le tableau ci-après :

Altitudes		B.707-320 à 121t,4		Comet IV à 68t		Caravelle à 40t		DC.4 à 27t,8	
en pieds	en mètres m	Longueurs m	% de majoration	Longueurs m	% de majoration	Longueurs m	% de majoration	longueurs m	% de majoration
0	0	2.444	0	1.756	0	1.560	0	1.165	0
2000	610	2.750	12,5	1.970	12,2	1.740	11,5	1.335	14,6
4000	1.220	3.055	25	2.245	27,8	1.950	25	1.530	31,3
6000	1.830	3.422	40	2.597	47,9	2.200	41	1.785	53,2
8000	2.440	3.880	58,8	-	-	2.500	60,2	2.130	82,8
9000	2.680	-	-	-	-	2.680	71,8	-	-

On voit immédiatement que la loi d'accroissement de la longueur de piste nécessaire, en fonction de l'altitude est loin d'être linéaire. Il en est de même pour tous les types d'appareils.

Ce résultat était prévisible, car il est évident que, pour une altitude égale au plafond de l'appareil, il faudrait une longueur de piste infinie.

On voit aussi combien cette loi est différente suivant les types d'appareils.

De plus, cette loi est variable pour un même appareil suivant son poids comme le montre le tableau suivant relatif au SE 210 Caravelle considéré avec deux poids au décollage différents.

Altitudes		Poids de 35 tonnes		Poids de 42 ton.	
en pieds	en mètres m	Longueur m	% de majoration	Longueur m	% de majoration
0	0	1.230	0	1.700	0
2.000	610	1.360	10,6	1.900	11,8
4.000	1.220	1.510	22,8	2.140	25,9
6.000	1.830	1.690	37,4	2.420	42,4
8.000	2.440	1.905	54,9	2.740	61,2
9.000	2.680	2.030	65	2.950	73,5

Comparons maintenant ces résultats particuliers à ceux auxquels conduiraient les formules générales données au paragraphe précédent, pour diverses altitudes en atmosphère type.

Altitudes		Pourcentage de majoration de longueur de piste				
		Calculés d'après la règle de l'Instruction Française et de l'O.A.C.I.	Réels d'après les manuels de vol			
en pieds	en mètres		B.707-320 à 121t	Comet IV à 68t	Caravel- 40t	DC.4 à 27t8
0	0	0	0	0	0	0
2.000	610	14	12,5	12,2	11,5	14,6
4.000	I.220	28	25	27,8	25	31,3
6.000	1.830	42	40	47	41	53,2
8.000	2.440	56	58,8	-	60,2	82,8
9.000	2.680	63	-	-	71,8	-

On remarquera que le taux de majoration en fonction de l'altitude donné , dans le cas où la température est égale à la température en atmosphère type, par les formules générales de correction actuellement admises, est assez satisfaisant jusqu'à ce que la correction atteigne 30 à 40%, valeur qui correspond en atmosphère-type, à des altitudes de 1.300 à 1.700m. Au delà, il peut s'écarter sensiblement des pourcentages de majoration réels

C'est pourquoi il est justifié, comme le recommande l'O.A.C.I. d'examiner spécialement chaque cas particulier lorsque le coefficient de correction dépasse 35%.

3,113.354 Conclusions.

Pour tenir compte de l'effet de la température et de la pression jusqu'à des densités-altitudes ~~d'environ 1.500m, la~~ règle actuelle de l'O.A.C.I., aussi bien que l'Instruction française, donnent des résultats acceptables.

Pour des coefficients de correction dépassant 35%, il est nécessaire de procéder à une étude très attentive de la longueur de piste nécessaire, en tenant compte des performances réelles des appareils envisagés.

Il n'existe pas actuellement de formule satisfaisante permettant de tenir compte du profil en long de la piste.

Dans le cas de pentes sensiblement constantes, les prescriptions de l'Instruction française fourniront une approximation admissible pour la majoration de la distance accélération-arrêt, mais très en dessous des taux de majoration nécessaires pour la trajectoire de décollage avec un moteur stoppé, surtout pour les quadrimoteurs modernes. Il est préférable d'adopter, pour les pistes, une correction d'environ 8 à 10 % pour 1 % de pente moyenne lorsque la pente est sensiblement constante.

Pour tenir compte de l'effet de l'humidité sur les performances des appareils à moteurs à pistons, on pourra adopter les résultats des notes de travail de l'I.T.A.

Finalement, nous recommandons, dans les cas courants, de calculer le coefficient de correction par la formule suivante :

$$\frac{L}{L_o} = \left(1 + \frac{n_1}{100}\right)\left(1 + \frac{n_2}{100}\right)\left(1 + \frac{n_3}{100}\right) \text{, avec}$$

$n_1 = \frac{7h}{100}$; h étant l'altitude, en mètres, de l'aérodrome;

$n_2 = T - t$, T étant la température de référence définie au paragraphe 3,113.352 ci-dessus;

t étant la température, en atmosphère-type, à l'altitude h, donnée en degrés centigrades par la formule:

$$t = 15° - 0,0065 \times h$$

$n_3 = 8p$, p étant la pente moyenne de la piste (ou, plus exactement, la pente moyenne multipliée par 100).

3,113.4 Autres dimensions des pistes et bandes des diverses catégories d'aérodromes de la classification française.

La longueurde la piste principale d'un aérodrome de la catégorie donnée étant déterminée d'après les considérations que nous venons de développer, il reste à définir :

- la largeur de la piste principale,
- la longueur et la largeur de la bande correspondante,
- les longueur et largeur des pistes secondaires et des bandes correspondantes,
- le profil en long, les profils en travers et les rayons de courbures admissibles.

3,113.41 Largeur de la piste principale.

La largeur de la piste principale augmente avec sa longueur pour les deux raisons suivantes :

- la largeur du train des appareils augmente en général avec la longueur de piste nécessaire,
- la probabilité qu'un appareil s'écarte de l'axe, d'une certaine longueur, augmente avec la distance parcourue sur la piste.

Les largeurs adoptées sont le résultat de l'expérience acquise.

On adopte une surlargeur pour les pistes utilisées aux instruments pour tenir compte de l'imprécision que peut encore comporter cette manoeuvre d'atterrissage.

3,113.42 Longueur et largeur de la bande principale

Pour les aérodromes de catégories A et B, la longueur de la bande est égale à celle de la piste augmentée de 60m à chaque extrêmité, soit au total de 120m.

On estime que cette surlongueur qui est une garantie supplémentaire de sécurité, ajoutée à ce qu'exigerait une stricte interprétation des règles d'exploitation, est suffisante. Elle facilite l'implantation du balisage.

Pour les aérodromes de catégorie C, lorsqu'ils sont munis de pistes, ce qui est le cas général, la bande dépasse la piste de 50m à chaque extrêmité.

Pour les aérodromes de catégorie D, lorsqu'ils sont munis de piste, la bande dépasse la piste de 30m à chaque extrêmité.

La largeur de bande varie de 100m à 150m pour les opérations à vue, suivant la catégorie de l'aérodrome. Il résulte de statistiques américaines qu'aux Etats-Unis, aucun appareil n'est jamais sorti d'une bande fondamentale de 150m de largeur, sur les aérodromes commerciaux correspondant aux catégories A à C françaises.

Lorsque la piste est utilisée aux instruments, la largeur de la bande est portée à 300m par souci de sécurité.

Toutefois l'intérêt de cette surlargeur de 75m de part et d'autre de la bande à vue de 150m de largeur, réside plutôt dans le fait qu'elle est dégagée d'obstacle, que dans les possibilités qu'elle offre pour l'atterrissage.

Les études récentes ont conduit à distinguer, d'une part, la bande aménagée et, d'autre part, la bande dégagée.

La bande aménagée doit non seulement être dégagée d'obstacles mais encore nivelée, de telle sorte qu'un avion qui quitterait accidentellement la piste puisse y rouler sans subir de dommages importants.

La bande dégagée doit être dégagée d'obstacles mais n'est pas destinée au roulement des appareils, même accidentellement. Son objet essentiel est de définir les limites de la trouée (voir plus loin, le chapitre relatif aux dégagements).

Le tableau suivant donne la largeur de la bande aménagée et de la bande dégagée, à l'intérieur de laquelle se trouve la bande aménagée, pour les diverses catégories d'aérodromes.

Catégories	Largeur de la bande	
	aménagée	dégagée
A à vue (1)....	150 m	150 m
aux instruments	150 m	300 m
B à vue...........	150m	150 m
aux instruments.	150 m	300 m
C à vue...........	120 m(2)	150 m
aux instruments.	150 m	300 m
D	60 m (3)	100 m

(1) pratiquement toute piste A est équipée en piste aux instruments.

(2) recommandation de l'O.A.C.I.

(3) minimum porté à 80m pour les bandes destinées spécialement aux planeurs.

3,113.43 Longueur et largeur des pistes secondaires et des bandes correspondantes.

Nous avons vu au paragraphe 3,113.12 qu'une piste secondaire peut être de la même catégorie que la piste principale ou d'une catégorie inférieure.

On admet que les pistes secondaires de même catégorie que la piste principale, peuvent avoir une longueur de 10 à 20% inférieure à celle de cette dernière.

En effet, ces pistes secondaires ne sont normalement utilisées qu'avec un vent de vitesse assez élevée puisque la piste principale devrait absorber toutes les opérations comportant une composante transversale du vent inférieure à 13 m/sec., 10 m/sec., 7 m/sec. ou 5 m/sec. suivant la catégorie de l'aérodrome.

Il en résulte que la longueur de décollage ou d'atterrissage d'un appareil utilisant une piste secondaire, est inférieure à celle de ce même appareil par vent nul, cas pour lequel la longueur de la piste principale a été déterminée.

Pour les pistes secondaires de catégorie inférieure à celle de la piste principale, on adopte, en principe, une longueur inférieure de 10 à 20% à la longueur de piste principale de même catégorie que la piste secondaire considérée.

Il peut arriver toutefois, dans certains cas, que l'on soit amené à renoncer à cette réduction de longueur. Par exemple, sur un aérodrome de catégorie C, muni d'une piste C et de deux bandes D, il se peut que le relief du sol n'ait pas permis de donner à la piste C l'orientation la plus favorable; il est possible, alors, que ce soit, une des bandes D qui joue, pour les avions légers, le rôle de bande principale; on lui donnera donc la longueur d'une bande principale de catégorie D.

Comme pour les pistes principales, la longueur de la bande dépassera la longueur des pistes secondaires de 60m sur les pistes secondaires A et B, de 50m sur les pistes secondaires de catégorie C et de 30m pour les pistes secondaires de catégorie D, à chaque extrêmité de la piste.

Pour les largeurs de piste et de bande, on adopte pour les pistes secondaires, les mêmes dimensions que pour les pistes principales de même catégorie.

On n'envisage pas actuellement, sauf très rares exceptions, qu'une piste secondaire puisse être utilisée aux instruments. Cependant, sur les aérodromes commerciaux importants, fréquentés par les gros appareils à réaction, il serait désirable d'équiper d'un ILS toutes les directions d'atterrissage, afin de faciliter la manoeuvre d'approche.

Si une piste secondaire était utilisée aux instruments, elle devrait avoir une longueur voisine de celle de la piste principale et les largeurs de piste et de bandes correspondantes devraient être celles que l'on adopte pour les pistes aux instruments de même catégorie.

3,113.44 Tableau récapitulatif.

Les dimensions admises pour les diverses catégories d'aérodromes que comporte la classification française sont résumées par le tableau ci-après :

Classes	A	B	C	D
Bandes d'envol principales longueurs correspondant à la longueur de base de la piste.				
- minimum absolu............	2.200	1.620	900	450
- minimum désirable..........	2.620	1.920	1.100	800
- optimum..................	3.120	2.220	1.600	960
Largeurs de la bande dégagée				
- piste aux instruments	300	300	300	(1)
- opérations à vue.....	150	150	150	100
Pistes d'envol principales longueurs de base				
- minimum absolu..............	2.100	1.500	800	390
- minimum désirable...........	2.500	1.800	1.000	740
- optimum.....................	3.000	2.100	1.500	900
Largeurs Pistes aux instruments				
- minimum absolu..............	60	45	45	(1)
- optimum.....................	60	60	60	(1)
Opérations à vue				
- minimum absolu	45	45	30	20
- optimum.....................	60	60	45	30

(1) pas de piste aux instruments pour les aérodromes de catégorie D.

Il existe actuellement une tendance à admettre que la largeur de 60m, là où elle est prévue dans le tableau ci-dessus, soit remplacée par une largeur de 45m de piste proprement dite encadrée par deux "épaulements" (bandes revêtues de résistance inférieure à celle de la piste mais où des avions peuvent occasionnellement rouler sans dommage) de 7m50 de largeur chacune, ce qui donne également une largeur totale de 45m + 2 x 7m50 = 60m.

Il faut aussi tenir compte du fait que les moteurs de certains avions de grande capacité sont très écartés les uns

des autres. C'est ainsi que la distance entre moteurs extérieurs du B.747 est de 42m,50. Le souffle de ces moteurs, au décollage, est extrêmement puissant et, si la piste n'a que 45m de largeur, il faut protéger les accotements afin qu'ils ne soient pas dégradés par le souffle qui peut atteindre, au sol, des vitesses de l'ordre de 400 Km à l'heure et afin d'éviter, aussi, le risque d'absorption de cailloux ou autres corps étrangers par les réacteurs. Il est donc indispensable, pour cette raison, de revêtir les accotements de part et d'autre des pistes utilisées par des B. 747, si elles ont moins de 60m de largeur. Pour une piste de 45m de largeur, le revêtement de l'accotement aura 7m50 de part et d'autre de la piste. Un soin particulier devra être apporté au raccordement de ce revêtement avec la piste. Il faudra éviter aussi toute discontinuité dans la surface du revêtement de l'accotement car elle donnerait prise au souffle des réacteurs et pourrait être l'amorce de désordres graves. C'est ainsi qu'au Bourget, le 7 juin 1969, un B. 747 a arraché, au décollage, sur la piste 07-25, environ 40 m2 de revêtement d'un accotement dans lequel une saignée avait été récemment pratiquée pour le passage d'un câble et n'avait pas encore été revêtue.

3,113.45 Profil en long, profil en travers, rayons de courbure.

Le profil en long des pistes, doit être aussi plat que possible.

La pente moyenne et la pente en chaque point ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées par le tableau suivant:

Classes	A	B	C	D
Pente moyenne	1%	1%	1,5%	2 %
Pente en chaque point	1,25%	1,5%	2 %	2 %

L'O.A.C.I. est un peu plus sévère car, d'une part, elle fait intervenir la pente effective au lieu de la pente moyenne et, d'autre part, elle recommande de ne pas dépasser une pente effective de 1% lorsque la lettre d'identification est C. Il semble cependant que les règles de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes relatives à la pente des pistes n'aient jamais donné lieu à difficultés.

L'O.A.C.I. recommande aussi, pour les pistes A et B, de ne pas dépasser une pente de 0,8% sur le premier et le dernier quart de leur longueur. Elle estime en outre, souhaitable, pour les pistes destinées à être utilisées pour des atterrissages "tous temps", d'éviter des changements de pente ou de les limiter au strict minimum, à partir du point où un avion se trouverait sur le radioalignement de descente de l'ILS à une altitude de 22m,50 jusqu'au point de prise de contact, l'altitude de 22m50 au-dessus du sol étant celle à laquelle le radio-altimètre commencerait à fournir des indications au pilote automatique pour l'arrondi automatique.

Lorsque la piste comporte des changements de pente, le raccordement entre deux pentes successiveis doit être assuré par une courbe de grand rayon. Les recommandations de l'O.A.C.I. diffèrent sensiblement, sur ce point, des prescriptions de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes, ainsi qu'il ressort du Tableau suivant.

Rayons de courbure minimaux des courbes de raccordement du profil en long d'une piste.

	Catégories			
	A	B	C	D
Recommandation de l'IBRA...	10.000m	10.000m	5.000m	5.000
Recommandation de l'OACI...	30.000m	30.000m	15.000m	7.500m

Il est préférable de suivre les recommandations de l'O.A.C.I. toutes les fois qu'il n'en résulte pas d'augmentation sensible de dépense.

Règle de visibilité

Il est recommandé que le profil en long soit tel que tout point situé à 3m au-dessus de l'axe de la piste soit visible de tout autre point situé à 3m au-dessus de cet axe, à une distance inférieure ou égale à la moitié de la longueur de la piste.

Il est recommabdé que le profil en long ne comporte pas d'ondulations excessives.

A cet effet, la règle suivante a été énoncée par l'O.A.C.I. : la distance entre les points d'intersection des tangentes extrêmes de deux courbes de raccordement successives ne devrait pas être inférieure au produit de la somme des valeurs absolues des changements de pente correspondants par les longueurs suivantes :

- 30.000m en catégories A et B
- 15.000m en catégorie C
- 5.000m en catégories D et E.

C'est ainsi,(figure 18) que si les changements de pente ont pour valeur p = 1% et p' = 0,75%, sur une piste de catégorie B, la distance d devrait être au moins égale à :

$$30.000\text{m} \times \left(\frac{1}{100} + \frac{0,75}{100}\right) = 525\text{m}$$

Le profil en travers doit avoir une forme convexe pour favoriser l'écoulement des eaux vers chaque rive de la piste.

La pente maximale admissible en chaque point ne doit pas dépasser 1,5 % pour les pistes en béton et 2 % pour les revêtements souples (bitumés). Cette deuxième valeur est un peu élevée et a donné lieu à quelques incidents avec des avions légers.

Il a été parfois recommandé de donner au profil en travers une pente croissante depuis l'axe de la piste jusqu'à chaque rive, calculée de telle sorte que l'épaisseur de la lame d'eau sur la piste soit constante. Cette recommandation est peu appliquée en raison des sujétions qu'elle entraîne dans l'exécution des travaux.

En pratique, pour une piste de faible largeur (20 à 30m) on adopte,en général, un profil en travers à un seul versant plan. Pour une piste plus large, le profil en travers le plus courant comporte deux versants plus inclinés vers l'extérieur et raccordés, dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la piste, par un arc de cercle de grand rayon.

L'évacuation des eaux de ruissellement est assurée à l'aide de caniveaux ou de puisards placés, parallèlement à l'axe de la piste, aux points bas du profil en travers.

3,114 Résistance

3,114.1 Généralités.

La notion de résistance d'une piste intervient principalement dans les deux problèmes suivants :

- comment construire, sur un sol donné, une piste capable de supporter une charge déterminée ?

- étant donné une piste et le sol sur lequel elle est construite, quelles sont les charges qu'elle peut supporter ?

Qu'il s'agisse de faire un projet de piste ou d'évakuer la résistance d'une piste existante, l'exposé détaillé des techniques mises en jeu nous entraînerait à des développements dépassant de beaucoup les limites de ce cours.

Au surplus, les problèmes dont il s'agit et, notamment, les détails de calcul sont beaucoup plus du ressort des Ingénieurs des Bases Aériennes que de celui des Ingénieurs de la Navigation Aérienne. Nous nous limiterons donc à un certain nombre de considérations qui doivent être connues des ingénieurs chargés de l'exploitation.

Ceux que ces questions intéresseraient particulièrement pourront trouver des développements dans les ouvrages spécialisés, sur la mécanique des sols et la construction des chaussées, ou dans les textes suivants :

- Circulaire ministérielle n° 2483 DBA/6 du 16 avril 1970 et document joint intitulé : "Dimensionnement des chaussées d'aérodromes et détermination des charges admissibles" (document STBA/GCP de janvier 1970).

- Manuel d'aérodromes de l'O.A.C.I. - 2ème Partie - Caractéristiques physiques des aérodromes.

Il existe denombreux types de pistes mais les deux plus courants sont :

a) les <u>pistes souples</u> (ou, plus généralement, les chaussées souples) qui comportent une série de couches superposées de qualité croissante du bas vers le haut, la couche supérieure étant constituée par des granulats enrobés de liants hydrocarbonés, généralement à base de bitume; les couches successivement rencontrées de haut en bas sont appelées :

- couche de roulement,
- couche de base,
- couche de fondation,
- couche de forme;

b) les pistes rigides (ou, plus généralement, les chaussées rigides) qui sont constituées essentiellement par une dalle de béton reposant, en général, sur une fondation.

Les méthodes de calcul de ces deux natures de chaussées sont totalement différentes. Le calcul des chaussées souples repose sur l'emploi d'abaques dont les données fondamentales ont été établies expérimentalement. Le calcul des chaussées rigides peut aussi utiliser des abaques mais ceux-ci reposent sur des formules établies en appliquant les méthodes classiques de la résistance des matériaux et de la théorie de l'élasticité.

Non seulement les méthodes de calcul sont différentes mais encore les coefficients utilisés pour exprimer la qualité du sol de fondation ne sont pas les mêmes selon que l'on considère une chaussée souple ou une chaussée rigide;

a) le calcul ou l'évaluation d'une chaussée souple fait intervenir l'indice portant CBR ou indice portant californien du sol de fondation, établi en laboratoire, sur des échantillons du sol de fondation et qui est un nombre sans dimensions;

b) le calcul ou l'évaluation d'une chaussée rigide fait intervenir le module de réaction K du sol de fondation déterminé par des essais effectués in situ et qui s'exprime en Kg/cm^2/cm, c'est-à-dire en Kg/cm^3.

3,114.2 - Définition de la résistance d'une piste. Notion de roue isolée équivalente.

La résistance d'une piste a d'abord été très simplement définie par le poids de l'avion le plus lourd qu'elle pouvait supporter. C'était et c'est encore parfaitement légitime avec des appareils comportant deux atterrisseurs principaux à roue simple. Dans ce cas, en effet, la plus grande partie du poids de l'appareil (au moins 90%) est supportée par les atterrisseurs principaux et, comme on peut considérer que chaque atterrisseur principal agit, sur la piste, indépendamment de l'autre, la charge appliquée à la piste est définie avec une précision suffisante par la charge supportée par la roue d'un atterrisseur principal et par la surface de contact de cette roue et de la piste.

L'utilisation de trains d'atterrissage à roues multiples ne permet plus de se contenter de l'indication du

poids total de l'appareil. Il faut alors, pour définir la charge appliquée, faire intervenir soit les dispositions du train d'atterrissage (nombre et espacement des roues, etc....) soit la notion de roue isolée équivalente que nous allons définir et essayer d'analyser maintenant.

Pour un appareil donné et une piste de constitution donnée, la roue isolée équivalente est la roue isolée dont la charge produira, dans l'ensemble (piste + sol de fondation) les mêmes efforts critiques que le train d'atterrissage de l'appareil considéré.

Dans le cas des pistes souples, la notion de roue isolée équivalente peut s'analyser comme suit (figure 19).

Soit une roue isolée R supportant une charge P et agissant sur la surface supérieure AB de la piste. Considérons un plan horizontal (H) situé à une profondeur h au-dessous de la face supérieure de la piste. Un petit élément s de ce plan horizontal supportera une contrainte dont la composante verticale p variera avec la position de l'élément s. En particulier, dans le plan de la figure qui est le plan vertical passant par l'axe de la roue, on peut tracer la courbe représentative des contraintes verticales p. Cette courbe C a la forme d'une courbe en cloche avec un maximum passant à la verticale du centre de la roue.

Si maintenant, nous faisons agir, sur la face supérieure de la piste, une seconde roue R' supportant également une charge P, il y aura superposition des contraintes agissant au niveau du plan horizontal (H) à condition, bien entendu, que les charges soient telles que l'on puisse considérer que la déformation reste élastique.

Si les roues R et R' sont suffisamment éloignées l'une de l'autre, on voit, (fig.20) que la contrainte résultante présentera deux maximums M et M' situés sensiblement à la verticale des centres de chaque roue et pratiquement égaux au maximum provoqué par une seule roue.

Si, au contraire, les roues R et R' sont voisines, la courbe représentative de la contrainte résultante aura un maximum situé à égale distance des deux roues et d'une valeur supérieure à la contrainte provoquée par une seule roue (fig. 21).

A la profondeur h à laquelle nous nous sommes placés, la même contrainte M serait produite par une roue simple dont la charge serait comprise entre P et 2P.

On voit que cette charge dépend non seulement de la charge P agissant sur chaque roue R et R' mais encore :

- de l'écartement entre les roues R et R'
- de la surface de contact entre ces roues et la piste
- de la profondeur h à laquelle nous nous sommes placés.

Pour une piste bien construite, le niveau le plus critique est celui où la piste est en contact avec le sol de fondation; la profondeur h est alors égale à l'épaisseur e de la piste.

Dans ces conditions, on peut trouver quelques règles simples pour la détermination de la charge de la roue isolée équivalente, dans le cas du jumelage et dans le cas du boggie.

a) cas du jumelage (figure 22).

Représentons en coordonnées logarithmiques, d'une part, l'épaisseur de la piste e et d'autre part, la charge par roue isolée équivalente C.

Soit - P la charge totale sur la jambe de l'atterrisseur,
- d la distance entre bords intérieurs des surfaces de contact des pneus avec la piste,
- s la distance entre centres des pneus.

La courbe représentative de C en fonction de e est tracée en trait interrompu. Pratiquement on peut la remplacer par la ligne brisée dessinée en trait plein. Autrement dit:

- lorsque $e < \frac{d}{2}$, la charge C par roue isolée équivalente est sensiblement égale à la moitié P/2, de la charge supportée par la jambe de l'atterrisseur. Chaque roue agit alors isolément :

- lorsque $e > 2s$, la charge C est sensiblement égale à P. Les deux roues agissent alors comme s'elles étaient concentrées sur la même verticale.

- entre ces deux valeurs de e, le logarithme de la charge par roue isolée équivalente varie sensiblement comme le logarithme de l'épaisseur. Ce cas est de beaucoup le plus fréquent.

L'utilisation de papier à quadrillage logarithmique permet de déterminer très facilement C lorsque les valeurs de P, e, d et s sont connues.

On indique parfois que la charge par roue isolée équivalente à un jumelage, est égale à 80% de la charge supportée par l'atterrisseur (C = 0,8 P). Ceci n'est vrai que pour une épaisseur e déterminée. Dans le cas de la figure 22, cette épaisseur est d'environ 2 d, ce qui correspond à un cas courant mais certainement pas général. En bon terrain ou en mauvais terrain, C est très différent de 0,8 P.

b) cas du boggie (figure 23)

Le cas du boggie s'analyse exactement de la même manière et conduit aux mêmes règles. Il faut toutefois prendre pour s la distance entre les centres des surfaces de contact des roues les plus éloignées, comme l'indiquent la figure et le croquis ~~suivants.~~ de la figure 23

C est compris entre $\frac{P}{4}$ et P puisqu'il y a 4 roues.

Observation - Il ne faut pas perdre de vue que les considérations précédentes ne s'appliquent pas aux pistes en béton. Des règles particulières permettent de calculer, pour ces pistes, la charge de la roue isolée équivalente à un train d'atterrissage donné. Leur exposé, assez complexe, nous entraînerait trop loin de l'objet principal du cours.

3,114.3 Eléments à considérer dans la détermination de la résistance d'une piste.

Lorsque l'on cherche à déterminer comment doit être construite une piste, il faut tenir compte :

- du poids et des dispositions du train d'atterrissage des appareils qui utiliseront cette piste ou de la charge maximale par roue isolée équivalente de ces appareils;
- de la pression de gonflage des pneumatiques;
- de l'intensité du trafic.

On aura aussi souvent à résoudre le problème inverse qui consiste à rechercher quelle est la charge maximale que peut supporter une piste donnée; il faudra alors considérer, non seulement le mode de constitution de la piste et la qualité du sol sur laquelle elle a été construite, mais encore la pression de gonflage des pneus et l'intensité du trafic.

L'O.A.C.I. recommande que des renseignements soient communiqués, par l'autorité compétente, sur la résis-

tance des chaussées de chaque aérodrome, suivant une des méthodes indiquées au paragraphe 2.6.2. de la 2ème partie de l'annexe 14 (cinquième édition).

On peut, par exemple, indiquer la charge admissible sur chaque jambe d'atterrisseur principal dans les trois cas suivants :

- roue simple;
- diabolo (roues jumelées);
- boggie.

L'O.A.C.I. recommande, en outre, que ces renseignements comportent l'indication de la fréquence de circulation considérée dans l'évaluation des charges admissibles et que ces dernières soient indiquées pour chaque saison si elles comportent des variations saisonnières considérables.

Le document joint à la circulaire n° 2483 DBA/6 du 16 avril 1970 permet de déterminer les charges admissibles dans les conditions recommandées par l'OA.C.I.

Nous allons examiner plus en détail comment interviennent dans l'évaluation des charges admissibles sur une piste les principaux éléments relatifs au trafic qu'elle supporte.

A - Charge par atterrisseur principal et forme de cet atterrisseur ou roue isolée équivalente.

Le document joint à la circulaire du 16 avril 1970 permet de calculer la charge admissible sur un atterrisseur principal à roue simple, à jumelage ou à boggie, d'une part pour des atterrisseurs-types ayant des caractéristiques choisies parmi les plus sévères des avions commerciaux en service, d'autre part, pour 21 appareils commerciaux existants ou en projet, comprenant ceux qui sont les plus fréquents sur nos aéroports.

Cette méthode, dont la complexité n'est qu'apparente, fait intervenir, en fait, la notion de roue isolée équivalente que nous avons analysée plus haut. Son avantage est que, ayant permis de déterminer facilement, pour une piste, la charge admissible pour des atterrisseurs-types choisis parmi les plus sévères, elle donne une certaine sécurité dans la détermination de la charge admissible même si l'appareil ne figure pas parmi les 21 qui ont fait l'objet d'une étude particulière.

B - La pression de gonflage des pneus intervient indirectement dans la détermination de la charge de la roue isolée équivalente.

Dans l'action d'une roue simple, l'incidence de la pression de gonflage des pneus s'explique comme suit :

Lorsqu'un pneu est en contact avec le sol, il s'aplatit et l'on peut admettre que la pression qu'il exerce sur le sol est sensiblement égale à la pression de gonflage.

Les surfaces de contact peuvent être considérables. C'est ainsi qu'une roue chargée de 10 T et munie de pneus gonflés à 5 k/cm^2 aura une surface de contact de 2.000cm^2, soit sensiblement celle d'un cercle de 51 cm de diamètre.

Si la pression était portée à 10 k/cm^2 le diamètre de la surface de contact serait ramené à 36cm. Or, plus une charge est concentrée, plus les efforts produits dans le revêtement (surtout dans la partie supérieure de celui-ci) sont élevés. Il en résulte qu'à charge totale égale, la résistance de la piste devra être d'autant plus grande que la pression de gonflage est plus élevée.

Les pressions de gonflage maximales adoptées en France, pour le calcul des pistes augmentent avec la charge de la roue isolée équivalente pour laquelle la piste est calculée, suivant les indications du tableau ci-après :

Charge de la roue isolée	45 T.	20 T.	9 T.	2T,25
Pression de gonflage......	10 k/cm	7k/cm	5k/cm	3k/cm

N.B.- En réalité la pression moyenne exercée par une roue sur la piste ne serait égale à la pression de gonflage que si le pneu était parfaitement souple. Du fait de la rigidité de l'enveloppe des pneus une partie de la charge est transmise par celle-ci, de telle sorte que la pression moyenne exercée par le pneu sur la piste est un peu supérieure à la pression de gonflage, De ce fait, on admet parfois que la surface de l'aire de contact du pneu sur la piste est égale à 0,9 fois la charge sur la roue divisée par la pression de gonflage.

C - L'intensité du trafic est un élément dont les conséquences sont plus difficile à évaluer numériquement mais qui joue cependant un rôle important. En effet, une piste n'est pas un ouvrage rigoureusement élastique et elle se dégrade toujours, plus ou moins, au passage des charges.

Il faut donc définir l'intensité du trafic par lequel une piste est calculée ou bien pour lequel une piste peut supporter une certaine charge. L'intensité du trafic s'exprime par le nombre de mouvements (un mouvement = un atterrissage ou un décollage)par jour.

Deux méthodes peuvent être employées pour tenir compte de l'intensité du trafic.

1°) Méthode d'inspiration américaine.

Les abaques ou formules donnant la charge que la chaussée peut supporter sont supposés établis pour un trafic "à pleine capacité" de l'aéroport.

- Sur un aérodrome régulier ou de dégagement on admettra que, pour une circulation limitée,

a) dans le cas de revêtements souples, la force portante de la piste est égale à celle d'une piste soumise à un trafic continu, ayant une épaisseur égale à celle de la piste considérée, majorée de 20%.

On obtiendra ainsi des majorations de force portante qui, suivant la nature du sol de fondation, pourront atteindre 30 à 40%.

b) dans le cas de revêtements rigides, on peut ramener le coefficient de sécurité de 1,8 à 1,25, ce qui conduit à des majorations de force portante qui pourront atteindre de 45 à 50% dans les cas courants.

Sur un aérodrome de secours, on peut admettre une majoration de charges correspondant à la différence entre deux catégories successives. Autrement dit, du point de vue de la résistance, une piste de catégorie B peut servir de secours à un aérodrome de catégorie A, une piste de catégorie C à un aérodrome de catégorie B et une bande de catégorie D à un aérodrome de catégorie C.

2°) Méthode d'inspiration anglaise.

On a essayé de préciser quelle est l'augmentation de charge admissible dans le cas d'opérations en nombre limité ou même exceptionnelles.

Si l'on considère le nombre N d'applications d'une même charge P sur une piste, on constate que, pour aboutir

à un certain degré d'usure, il faut atteindre un nombre N qui décroît lorsque P augmente.

Les développements de cette théorie ont conduit, en Angleterre, à des règles pratiques que l'on peut traduire comme suit :

- une majoration de charge de 10% n'a qu'une influence négligeable sur la durée d'une chaussée,
- pour une charge atteignant 1,1 à 1,25 fois la charge pour laquelle la piste a été calculée, on peut prévoir, sans grand inconvénient, jusqu'à 3.000 mouvements environ, avant que la piste ne subisse de sérieuses dégradations,
- pour une charge atteignant 1,25 à 1,5 fois la charge de calcul, on peut prévoir jusqu'à 300 mouvements. Il peut se produire, alors, certaines fissures dans les chaussées en béton et certains dégâts locaux dans les revêtements souples, qui entraîneraient une augmentation des dépenses d'entretien,
- pour une charge atteignant 1,5 à 2 fois la charge de calcul, un très petit nombre de mouvements seulement, peut être autorisé, après examen technique de la chaussée et analyse des résultats d'essais,
- pour une charge dépassant le double de la charge de calcul, l'aéronef correspondant ne devrait utiliser la chaussée qu'en cas d'urgence, c'est-à-dire comme piste de secours.

La méthode utilisée en France repose sur les mêmes principes.

Les abaques ou formules sont établies pour un trafic de 10 mouvements par jour de la charge P pour laquelle la chaussée est (ou a été) calculée. Compte tenu de la répartition des points d'application des charges le long de chaque profil en travers, cette hypothèse correspondant à environ 5.000 applications de la charge en un point donné et à une durée de vie moyenne d'environ dix ans, c'est-à-dire qu'il faut prévoir de grosses réparations dans un tel délai.

Lorsque la charge appliquée P' diffère de la charge de calcul P, le nombre moyen quotidien d'applications de la charge conduisant au même degré d'usure de la chaussée devient N' et les valeurs de P, P' etN' sont liées par la formule :

$$P' = P\,(1{,}2 - 0{,}2 \log N')$$

Cette formule donne N' connaissant P et P' ou P' connaissant P et N'.

On peut utiliser, pour son application, un abaque qui donne la valeur de $\underline{P'}$ en fonction du nombre moyen de mouvements quotidiens $\overline{P}$ admissibles.

Si, par exemple, $P' = 1,4P$, on trouve que la moyenne du nombre de mouvements quotidiens admissibles tombe de 10 à 0,1.

Mais le trafic d'un aérodrome comprend des mouvements d'avions de poids très divers. On a d'abord estimé que l'on pouvait négliger les mouvements qui occasionnent des charges inférieures à 80% de la charge de calcul.

Il est plus correct de calculer le trafic équivalent à un trafic donné en attribuant à chaque mouvement un coefficient de pondération égal à 1 pour la charge de calcul. Ce coefficient qui obéit également à une loi logarithmique est donné par une formule ou un abaque.

3,115 <u>Nombre de pistes par direction d'envol</u>.

Lorsque le nombre et l'orientation des diverses directions d'envol ont été déterminés par les méthodes exposées au paragraphe 3,112 ci-dessus, il faut rechercher si l'on peut se contenter d'une piste unique dans chaque direction.

Ce sont principalement des considérations de trafic qui conduisent à doubler, ou même éventuellement à tripler le nombre /des pis-/tes dans tout ou partie des directions d'envol retenues. Aussi, nous n'examinerons les problèmes ainsi posés que dans la 3ème partie du cours, à propos des avant-projets de plan de masse.

3,12 <u>VOIES DE CIRCULATION</u>

Les voies de circulation relient les aires de stationnement entre elles et avec les pistes.

Il n'en est prévu que sur les aérodromes munis de pistes, c'est-à-dire sur les aérodromes de classes A, B, généralement C et parfois D.

Sur les aérodromes C ou D non munis de pistes, on aménagera sur l'aire d'atterrissage, <u>à l'extérieur des bandes d'envol</u>, des bandes nivelées et gazonnées, destinées à la circulation au sol des appareils que l'on appelle, parfois, bandes de roulement.

Dans les paragraphessuivants, nous ne parlerons que des voies de circulation revêtues.

3,121 Tracé.

3,121.1 - Règles générales.

Le tracé doit être aussi court et direct que possible, et comporter de longs alignements droits reliés par des courbes aussi peu nombreuses que possible. Ces dispositions facilitent en effet la circulation au sol des appareils.

Pour augmenter la longueur des alignements droits, on peut être amené à réduire le rayon des courbes; il ne faut pas toutefois descendre au-dessous des chiffres ci-après, pour le rayon intérieur :

Catégories	Rayon intérieur minimum
A ou B	50 m
C	30 m

Il est bon d'adopter une valeur un peu plus élevée, par exemple 60m, pour le rayon intérieur des courbes des tronçons de voies de circulation fréquentés par des avions de grande capacité (B.747, Airbus, par exemple).

Aux extrêmités de la piste, l'axe d'une voie de circulation sera perpendiculaire à l'axe de la piste sur une longueur au moins égale à la demi-largeur de la bande, augmentée de la longueur de l'avion.

Cette disposition permet à l'avion de rester en position d'attente sans engager le gabarit de la bande et de rejoindre l'extrêmité de la piste par la voie la plus courte, dès que le contrôle l'autorise à prendre le départ.

Sur un aérodrome à faible trafic, on se contente d'un tronçon de voie de circulation perpendiculaire à la piste, reliant directement celle-ci à l'aire de stationnement (figure 24). On aménage alors des raquettes en bout de piste pour faciliter le virage des avions. Cette disposition n'est plus acceptable dès que le trafic atteint quelques mouvements (5 à 8) à l'heure de pointe car la piste est immobilisée lorsque l'avion y circule pour aller prendre le départ ou après avoir atterri.

On aménage alors une voie de circulation parallèle à la piste (figure 25).

Il a été parfois recommandé de donner à la voie de circulation un tracé légèrement brisé, afin d'éviter qu'un pilote puisse confondre la voie et la piste; il ne faut pas, toutefois, que l'angle de la voie et de la piste dépasse quelques degrés, sinon les parcours au sol et l'emprise nécessaire sont exagérément augmentés. En tout état de cause, les inconvénients de cette solution paraissent en dépasser les avantages.

Il est indispensable qu'une piste soit desservie par des voies de circulation non seulement à ses extrêmités, mais encore en des points intermédiaires, espacés au maximum de 500 à 600m et judicieusement placés pour permettre à un appareil qui atterrit de dégager la piste dès que possible.

En ces points intermédiaires, l'axe de la voie de circulation pourra faire, avec l'axe de la piste, un angle aigu mais au moins égal à 30°.

3,121.2 - Voies à circulation rapide.

Sur les aéroports à grand trafic, comportant une proportion importante de mouvements d'avions à réaction, il est recommandé d'adopter des dispositions permettant aux avions de se déplacer à une vitesse élevée, sur les voies de circulation. L'objectif poursuivi est triple; il s'agit :

- principalement, de permettre aux appareils qui viennent d'atterrir de dégager rapidement la piste, afin d'augmenter le débit de celle-ci; pour cela, il faut que ces appareils puissent quitter la piste alors qu'ils roulent encore à une vitesse élevée;

- en second lieu, aux appareils qui vont décoller, d'entrer sur la piste avec une vitesse élevée;

- accessoirement, de permettre une circulation rapide sur les voies de circulation, parfois très longues, afin de réduire la durée du parcours d'aérogare à aérogare.

Les vitesses de circulation au sol désirables nécessitent l'adoption, sur les parcours intéressés, de rayons importants, ainsi qu'il ressort du tableau suivant.

Vitesses en Km/heure	Rayon des courbes permettant d'effectuer le virage sans danger et sans inconvénient pour le confort des passagers.
16	15 m
32	45 m
48	105 m
64	195 m
80	300 m

Il convient en particulier de prévoir des entrées de pistes et des sorties de pistes permettant des vitesses de 50 à 80 km/h.

La courbe de raccordement, tangente, à une extrêmité, à l'axe de la piste, sera tangente, à l'autre extrêmité, à un tronçon rectiligne de voie de circulation dont l'axe devrait faire, en principe, avec l'axe de la piste un angle d'au moins 30° à 45°.

On aura, par exemple, une disposition analogue à celle de la figure 26 ci-après.

Il est recommandé que la courbe de raccordement AB se trouve entièrement dans les limites de la piste. Cette condition est malheureusement incompatible avec l'adoption d'un rayon de courbure et d'un angle α élevés.

C'est ainsi qu'avec $\alpha = 30°$ et une piste de 60m de largeur, le rayon de la courbe de raccordement est, au maximum, de 225m si la courbe AB reste dans les limites de la piste.

Aussi, pour obtenir une vitesse de sortie élevée, exigeant des rayons de l'ordre de 300m, est-on obligé de placer le point B à l'extérieur des limites de la piste.

L'O.A.C.I. a recommandé d'adopter les dispositions types définies par la figure 27.

Il est important que la voie de circulation comporte, après la courbe de grand rayon, un alignement droit assez long pour que l'avion qui vient de quitter la piste puisse décélérer en ligne droite. Une longueur de l'ordre de 100m est à prévoir pour cet alignement droit, pour les vitesses de sortie de piste correspondant à une courbe de raccordement de 300m de rayon. Ceci entraîne l'adoption d'une distance importante entre l'axe de la piste et l'axe de la voie de circulation parallèle. Pour diminuer cette distance on a été conduit à adopter pour l'angle α une valeur un peu inférieure à 30°. Avec 25°, valeur adoptée, notamment, à l'aéroport de Roissy-en-France, la distance entre axe de piste et axe de voie de circulation parallèle peut être ramenée à environ 250m, distance encore relativement élevée.

On disposera des sorties de piste à circulation rapide aux deux extrêmités de la piste, ainsi qu'en des points intermédiaires convenablement choisis pour permettre, à un appareil qui vient d'atterrir, de dégager la piste dès que sa vitesse est descendue au-dessous de la vitesse à laquelle il peut circuler sans risque sur la voie de circulation (par exemple 60 Km à l'heure si le rayon de la courbe de sortie est de 170m, 80 km à l'heure si ce rayon est de 300m).

Il est important de choisir l'emplacement des sorties de piste de telle sorte que la durée d'occupation de la piste soit aussi faible que possible.

Cette question a donné lieu à des études très approfondies confiées par la F.A.A. à l'Université de Californie. Les conclusions de ces études peuvent être résumées comme suit, en admettant que les appareils puissent dégager la piste lorsque leur vitesse est descendue à 60. miles à l'heure, c'est-à-dire à 96 km/h, ce qui suppose des sorties de piste à très grand rayon :

- les avions de transport peuvent être répartis en trois groupes, du point de vue de leurs performances d'atterrissage:
  a) les grands quadriréacteurs,
  b) les quadrimoteurs à hélices et les biréacteurs,
  c) les bimoteurs à hélices.

- la meilleure position des sorties de piste est indépendante des proportions relatives des nombres d'appareils de chaque groupe,

- si l'aérodrome est fréquenté par des avions des trois groupes, trois sorties rapides sont préférables à deux. S'il n'est fréquenté que par des avions de deux groupes, on peut se contenter de deux sorties rapides,

- les meilleures positions des sorties de piste, par rapport au seuil de piste, sont les suivantes, pour chaque groupe d'appareils, sur un aérodrome situé au niveau de la mer, en atmosphère type :

groupe a/	1800m à 2000m)	
groupe b/	1200m à 1300m)	du seuil
groupe c/	800m à 900m)	

(distances arrondies, les chiffres U.S étant exprimés en pieds).

- un tel espacement des sorties de pistes permettrait des atterrissages à intervalles de 60 secondes.

- ces distances doivent être corrigées en fonction de l'altitude et de la température, à raison de 1% pour 100m d'altitude et de 1% pour 3°C au-dessus de la température en atmosphère type à l'altitude de l'aérodrome. (Le Manuel d'Aérodromes de l'O.A.C.I. - 2ème partie - donne une formule de correction plus précise mais un peu plus compliquée).

L'application de ces principes conduirait, pour une piste de 3.000m située à environ 300m d'altitude, à des dispositions de principe telles que celles représentées par la figure 28.

3,122 Profil en long.

La pente longitudinale des voies de circulation ne doit pas dépasser 2,5%.

Le profil en long et le tracé des voies de circulation doivent être tels que la surface de la voie de circulation soit visible de tout point situé à 3m au-dessus de cette surface, à une distance inférieure ou égale à 300m mesurée le long de la voie de circulation.

Cette distance est suffisante pour que l'appareil, circulant sur la voie, puisse s'arrêter si un obstacle se trouve sur celle-ci, compte tenu des nombreuses manoeuvres et observations qui requièrent simultanément l'attention du pilote.

3,123 Profil en travers - Congés.

La largeur d'une voie de circulation doit être suffisante pour que les appareils puissent s'y déplacer, sans risque d'en sortir, quelle que soit leur vitesse.

L'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes recommande, pour cela, qu'elle soit égale à 2 ou 3 fois la largeur de voie du train d'atterrissage.

Compte tenu des dimensions de l'avion-type maximum correspondant à chaque catégorie, cette règle conduit aux largeurs ci-après :

Classes	Largeurs		
	Minimum actuel nécessaire	Minimum à réserver	Optimum
A..........	20 m	25 m	30 m
B..........	18 m	20 m	25 m
C..........	12 m 50	12 m 50	15 m
D..........	....	....	10 m

L'O.A.C.I. est un peu moins exigeante pour la catégorie A et recommande seulement de ne pas descendre au-dessous de 23m pour la largeur des voies de circulation desservant les pistes A et B.

Le profil en travers des voies de circulation doit être bombé ou à un seul versant plan pour assurer un bon écoulement des eaux. La pente transversale ne doit pas, toutefois, dépasser 3%. L'O.A.C.I. recommande même de ne pas dépasser 1,5 %.

A l'intersection d'une voie et d'une piste ou de deux voies de circulation, on ménage un congé dans la mesure où il est nécessaire pour faciliter le virage des appareils.

Par exemple, (figure 29), soit AB et CD deux voies qui se rencontrent en C, on aménagera le congé MN, si certains appareils ont à suivre le trajet ACD ou DCA.

On n'en aménagera pas, dans l'angle B C D, si, d'après les dispositions de l'aérodrome, aucun appareil n'a jamais à suivre les tracés B C D ou D C B.

A l'intersection de deux voies de circulation, le rayon R du congé, sera égal au rayon intérieur minimum des courbes indiqué au paragraphe 3,121 pour les diverses catégories d'aérodromes.

A l'intersection d'une voie de circulation et d'une piste le rayon du congé sera au moins égal à 50m

La largeur de train d'atterrissage et, surtout, la distance importante entre atterrisseur avant et atterrisseur principal que présente la géométrie de certains appareils (avions de grande capacité ou supersoniques) conduit à prévoir, à l'intérieur des courbes, une surlargeur en forme d'onglet.

L'O.A.C.I. a donné, à ce sujet, la règle suivante: "Le poste de pilotage de l'avion restant à la verticale des marques d'axe de la voie de circulation, la marge minimale entre les roues extérieures de l'atterrisseur principal de l'avion et le bord de la chaussée....... devrait être de :

4,5m lorsque la lettre d'identification de la piste est A ou B;

3m lorsque la lettre d'identification de la piste est C;

2m25 lorsque la lettre d'identification de la piste est D;

1,5m lorsque la lettre d'identification de la piste est E."

Cette règle conduit à des surlargeurs importantes si la largeur de la voie de circulation et le rayon de la courbe sont faibles et si l'empattement de l'avion est grand. La figure 30 donne un exemple des dispositions auxquelles elle peut conduire.

Mais, la règle énoncée ci-dessus suppose que l'avion commence son virage dès que le poste de pilotage atteint l'origine de la courbe. On peut réduire considérablement et même supprimer le congé si la ligne de guidage est telle que le virage soit commencé après que le poste de pilotage ait atteint l'origine de la courbe. La figure 31 indique une disposition de ce type.

3,124 <u>Aires de départ</u>

Sur les aéroports à très grand trafic des aires de stationnement dites "aires de départ" ou "aires de points fixes" doivent être prévues à l'extrêmité des voies de circulation, à proximité des pistes, pour le stationnement des appareils sur le point de décoller.

Le nombre de postes de stationnement à prévoir est fonction de la cadence des décollages aux heures de pointe et de la nature du trafic.

Pour les appareils à moteurs à pistons qui nécessitent, en principe, l'accomplissement d'un certain nombre de vérifications et d'un "point fixe" la durée de stationnement sur l'aire de départ peut atteindre 9 à 10 minutes. Un trafic important d'appareils de ce type nécessite donc que l'on prévoit un nombre assez élevé de postes de stationnement sur l'aire de départ.

Mais le développement du transport par appareils à réaction modifie fondamentalement les données de ce problème. Ces appareils ne sont pas astreints, avant le décollage, aux mêmes sujétions que les avions à moteurs à pistons et peuvent recevoir l'autorisation de décoller dès leur départ de l'aire de trafic, devant l'aérogare; il n'est même pas indispensable qu'ils marquent l'arrêt, en bout de piste, avant que le décollage soit commencé. On pourrait en conclure qu'avec un trafic constitué uniquement d'appareils à réaction, les aires de départ deviennent inutiles. Ce serait excessifcar il faut envisager l'éventualité où un appareil, pour une cause quelconque, devrait céder son tour de départ à un ou plusieurs autres. Il est donc nécessaire, sur un aérodrome à grand trafic, même s'il n'est fréquenté que par des avions à réaction, de prévoir des aires de départ, mais le nombre des postes de stationnement à y prévoir pourra être limité à quelques unités, quelle que soit l'importance du trafic.

La forme et l'emplacement de ces aires de départ sont assez variables.

La disposition la plus simple consiste à réaliser un "peigne" à l'extrêmité de la voie de circulation dans les conditions indiquées par le schéma ci-après. (figure 32).

On peut même implanter une des branches du peigne de telle sorte qu'elle constitue une entrée de piste à grande vitesse (figure 33).

Mais, dès qu'il faut prévoir plus de deux avions

en stationnement simultané, la disposition en peigne devient coûteuse et encombrante. De nombreuses solutions ont été proposées pour le cas des trafics élevés.

La plus courante est constituée par une simple surlargeur de la voie de circulation (fig.34,35 et 36). Les appareils en stationnement font un angle d'environ 45° avec l'axe de la voie de circulation.

La largeur préconisée est de 75m, y compris celle de la voie de circulation; cette largeur est suffisante car, pour les appareils modernes à train tricycle, l'empennage peut, sans inconvénient, être à l'extérieur du revêtement. La longueur l varie selon le nombre de postes prévus et l'encombrement des avions qui les utiliseraient.

L'emplacement de l'aire de départ, sur la voie de circulation, doit satisfaire à deux conditions contradictoires :

1 - Etre aussi proche que possible de l'origine de la piste pour éviter toute perte de temps inutile à l'appareil, entre son départ de l'aire de départ et le décollage;

2 - Etre à une distance suffisante de l'axe de la piste pour que les appareils en stationnement sur l'aire de départ ne soient pas un obstacle pour ceux qui atterrissent.

La norme de l'O.A.C.I. relative à la distance à respecter entre axe de piste et aire de départ nous paraît être un bon compromis entre ces deux exigences. Elle conduit à fixer, pour cette distance, une valeur minimale de :

75m pour les pistes A et B et les pistes C aux instruments;
60m pour les pistes C-à vue;
30 à 40m pour les pistes D.

Il faut en outre veiller à ce que les appareils en stationnement sur l'aire de départ et même les appareils qui se trouvent sur la partie de la voie de circulation voisine de l'origine de la piste ne troublent pas le fonctionnement des aides radio, notamment de l'ILS. Ce problème donne encore lieu à de difficiles études. Il pourra en résulter certaines sujétions pour les aéroports à grand trafic lorsque celui-ci comportera une proportion importante d'avions de grande capacité.

3,125 Résistance

Les voies de circulation sont construites plus solidement que la partie centrale des pistes car l'expérience montre qu'elles sont soumises à des efforts plus élevés, sans doute à cause de la concentration des charges, les voies étant moins larges que les pistes, et par suite des vibrations dues au passage des appareils, à faible vitesse.

Aussi on les calcule en majorant les charges de 25%.

Il faut aussi prévoir des accotements stabilisés en bordure des voies de circulation utilisées par certains avions de grande capacité pour leur permettre de résister au souffle. C'est ainsi que, pour les voies susceptibles d'être parcourues par des B. 747, une largeur totale de 50m entre bords extérieurs des accotements stabilisés (par exemple 25m de voie et 2 accotements de 12m,50) est jugée nécessaire.

3,126 Dégagements

Il est nécessaire d'observer une distance minimale entre les axes de deux voies de circulation, ou bien entre axe de voie et axe de piste, ou bien entre axe de voie et un obstacle afin d'éviter tout risque de collision ou d'accrochage de deux appareils entre eux ou d'un appareil et d'un obstacle.

Pour déterminer la distance minimale d'une voie de circulation et d'une piste on a supposé que l'avion-type roule dans l'axe de la voie et que le rectangle enveloppe n'entame pas la largeur de la bande prolongée extérieurement par un plan incliné à 10% ou à 20% suivant que la bande est utilisée aux instruments ou à vue.

Compte tenu de ce que la hauteur des extrêmités des ailes est inférieure à la hauteur du rectangle enveloppe, les chiffres calculés ont été arrondis à environ 10% par défaut.

Exemple : piste à vue et voie de circulation de catégorie B (fig.37).

Le calcul exact donne, pour la distance d'axe en axe, 0,9 (75 + 50 + 25) = 135m. En fait, on adopte la recommandation de l'O.A.C.I., soit 110m.

Pour déterminer la distance minimale à observer entre les axes de deux voies de circulation parallèles on suppose que les avions-types roulent au bord des voies et l'on majore

de 10% le chiffre calculé pour que les ailes se touchent (ex. fig. 38).

On opère de même pour déterminer la distance entre axe de voie et obstacle, mais compte tenu de la permanence de l'obstacle, la majoration est de 30% au lieu de 10%.

On adoptera finalement les résultats résumés par le tableau ci-après :

Classes	Distance minimale de l'axe d'une voie de circulation a :			
	l'axe d'une piste parallèle		L'axe d'une voie parallèle de même catégorie	un obstacle
	utilisable aux instruments	à vue		
A...	200 m	125 m	100 m	60 m
B...	185 m	110 m	75 m	45 m
C...	170 m	100 m	60 m	(1) 40 m
D...	"	60 m	45 m	35 m

(1) La distance de 35m recommandée, dans ce cas, par l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes parait un peu faible.

Le tableau ci-dessus fournira les données nécessaires lorsque piste et voie seront de même catégorie. Dans les autres cas (par exemple, voie de circulation utilisée uniquement par des court-courriers, parallèle à une piste B) on s'inspirera des principes appliqués pour l'établissement de ce tableau, tels qu'ils sont exposés plus haut.

3,13 AIRES DE STATIONNEMENT

3,131 Dimensions

Les dimensions des aires de stationnement se déterminent en fonction du trafic qui s'évalue lui-même dans les conditions que nous indiquerons plus loin.

On distinguera :

1°) les aires de trafic, encore appelées aires d'embarquement ou aires d'opérations,
2°) les aires de garage ou parkings et
3°) les aires d'entretien.

Mais il ne faut pas croire que la spécialisation des aires de stationnement soit aussi poussée sur tous les aérodromes. Lorsque le trafic sera faible, une seule aire pourra être utilisée pour les opérations commerciales et le garage des appareils; et les petites réparations s'effectueront sur l'aire située devant les hangars.

3,131.1 Aires de trafic.

3,131.11 Ces aires sont utilisées pour l'embarquement et le débarquement des passagers et du fret. Elles sont situées à proximité immédiate de l'aérogare ou de la gare de fret.

La surface nécessaire comprend la surface nécessaire aux avions, qui sera déterminée, à défaut de données plus précises résultant d'une étude approfondie du trafic envisagé, en admettant qu'une opération de débarquement et d'embarquement de passagers à une escale, dure environ 20 minutes, ce qui conduit à prévoir un nombre de postes égal au 1/3 du nombre de mouvements de l'heure de pointe. La durée des opérations de débarquement et d'embarquement des passagers doit être fortement majorée s'il s'agit d'un aérodrome "terminus". Dans ce cas une durée d'occupation moyenne d'environ 60 minutes n'est pas exagérée, et elle suppose même une discipline très stricte de l'aire de trafic. Sur certains aéroports, des durées d'occupation de deux heures, sur l'aire de trafic sont malheureusement courantes.

Ces postes seront répartis entre les diverses catégories d'avions prévues (long-courriers, lignes intérieures, etc...) et on admettra que chaque avion occupe un cercle de diamètre égal aux 4/3 de l'envergure de l'avion-type maximum de la catégorie considérée.

On réservera une voie de circulation et de manoeuvre en bordure de l'aire du côté piste, Cette voie sera séparée des postes de trafic par un dégagement d'environ 15m de largeur.

Le schéma ci-contre (fig.39) montre une disposition susceptible d'être adoptée pour un aérodrome de classe B.

3,131.12 La méthode indiquée au paragraphe 3,131.11 ci-dessus n'est acceptable que si l'on ignore les dispositions de l'aérogare et le mode de stationnement aux abords de celle-ci. On l'adoptera normalement pour les études d'avant-projets de plans de masse.

Mais, dès que ce sera possible, il faudra tenir compte du mode d'utilisation de l'aire de trafic et, en particulier, des mouvements des avions sur cette aire et de leurs positions lorsqu'ils stationneront. L'étude de détail de l'aire de trafic se trouve ainsi étroitement liée à celle de l'aérogare. On peut même considérer, dans une certaine mesure, que l'aire de trafic n'est qu'une annexe de l'aérogare (ou de la gare de fret).

Les principaux modes de stationnement des avions sur l'aire de trafic sont les suivants :

- nez dedans;
- 45° nez dedans;
- parallèle;
- 45° nez dehors;
- nez dehors.

Les encombrements correspondants sont généralement indiqués par les constructeurs (voir figure 40).

La position à 45° nez dehors a eu la faveur des compagnies jusqu'à une date récente car elle permet la manoeuvre au moteur, limite le bruit en direction de l'aérogare et facilite les opérations à effectuer sur l'aire de trafic. Elle est illustrée par la figure 41.

La tendance actuelle, du moins sur les aérodromes A (et même B si l'on y prévoit un très grand trafic) est en faveur du stationnement "nez dedans" car il limite la place occupée sur l'aire de trafic, parallèlement au front de l'aérogare, et, surtout, il est favorable à l'emploi de passerelles mobiles d'embarquement reliant directement l'aérogare à l'avion. Son seul inconvénient est la quasi-obligation de repousser

l'appareil au tracteur lorsqu'il doit quitter l'aérogare. L Mais cet inconvénient n'est important que si le trafic est trop faible pour justifier, économiquement, l'achat et l'exploitation d'un tracteur, appareil très couteux s'il doit pouvoir déplacer un avion lourd.

Pour faciliter le déplacement, au départ, des avions stationnant nez dedans, il est recommandé que la pente de l'aire de trafic soit dirigée vers l'extérieur.

En prévision de l'augmentation de capacité des avions, il y a intérêt à réserver la possibilité de porter jusqu'à 120m, pour les aérodromes A, la profondeur de l'aire de trafic.

3,131.2 Aires de garage.

L'emplacement disponible pour le stationnement des appareils en bordure des bâtiments est généralement à peine suffisant pour les aires d'opérations, aussi doit-on prévoir des aires de stationnement pour avions au repos appelées aires de garage ou parkings, situées à une distance plus ou moins grande des aires de trafic, mais choisies de telle sorte que les opérations au sol ne soient pas gênées.

La superficie des aires de garage doit être déterminée d'après l'importance du trafic et les besoins de l'exploitation.

Il n'est pas possible de donner de règle générale. Même sur un aérodrome tête de ligne, la superficie des aires de garage ne devrait pas dépasser celle des aires de trafic, si les rotations des appareils sont assez fréquentes.

Une disposition satisfaisante consiste à prévoir que les appareils stationneront, sur les aires de garage, en files parallèles, desservies deux à deux par une voie de circulation intermédiaire.

3,131.3 Aires d'entretien.

Ce sont les aires sur lesquelles s'effectuent les réparations des moteurs et, éventuellement, des cellules. Elles sont prévues aux abords des installations d'entretien. Leur superficie est très variable d'un aérodrome à l'autre, en fonction du rôle joué par celui-ci, dans l'entretien des appareils qui le fréquentent.

3,132 **Résistance**

Comme les voies de circulation, les aires de stationnement doivent être conçues pour des charges d'environ 25% supérieures à celles de la partie centrale des pistes, sur un même aérodrome.

Les trépidations dues au fonctionnement des moteurs, à l'arrêt, entraînent, en effet, des fatigues supplémentaires.

3,133 **Equipement**

L'équipement des aires de trafic des aérodromes importants peut être très complet : prises de ravitaillement en carburant, d'électricité, d'eau....

En surface, on trouve souvent des barrières anti-souffle destinées à protéger, contre le souffle des réacteurs des appareils circulant sur l'aire de trafic, les avions voisins, les personnes et véhicules circulant sur l'aire et même les installations de l'aéroport.

Le type de barrière le plus utilisé en France est celui qui est représenté par la figure 42.

Il est disposé, autour du poste de stationnement, comme l'indique la figure 41.

Ce type de barrière est extrêmement efficace contre le souffle car les filets de gaz de la partie inférieure du souffle sont déviés vers le haut en passant dans les mailles du grillage Goliath et ils repoussent vers le haut, les filets gazeux passant au-dessus de la barrière. On obtient ainsi une protection efficace même contre le souffle des réacteurs de la Caravelle, bien que leur axe soit à environ 3m au-dessus du sol. Il faut toutefois pour que l'effet "d'induction" puisse se produire, que la sortie des réacteurs de Caravelle soit à au moins 20m de la barbière.

3,2 AERODROMES A PISTES NON CLASSIQUES

3,21 Généralités

3,211 Les observations fondamentales conduisant à la conception des aérodromes à pistes non classiques peuvent être résumées comme suit :

Dans l'ancienne règlementation sur laquelle reposait, à l'origine, la conception des pistes classiques, la longueur de la piste devait être au moins égale à la plus grande des trois distances ci -près :

- distance accélération-arrêt,
- distance de décollage,
- $\frac{1}{0,6}$ distance d'atterrissage.

Nous avons vu que les deux premières de ces distances sont pratiquement égales dans l'ancienne réglementation.

Les nouvelles règles d'exploitation offrent les deux facilités importantes suivantes :

1°) Elles permettent à l'exploitant de choisir une vitesse critique plus faible que celle pour laquelle la distance accélération-arrêt est égale à la distance de décollage, pourvu que l'avion reste manoeuvrable à cette vitesse avec le moteur le plus défavorable hors de fonctionnement.

Ceci permet de diminuer la distance accélération-arrêt moyennant un accroissement de la distance de décollage.

Il en résulte une conséquence importante sur l'infrastructure (voir fig.43 b ci-jointe) : le tronçon BB' n'a pas besoin d'être revêtu.

2°) Elles permettent de réaliser plus légèrement le tronçon D'B de la figure 43b qui sert seulement pour l'arrêt en cas de manoeuvre accélération-arrêt. Nous avons vu, en effet, que lorsqu'une pistenest utilisée qu'exceptionnellement on peut y admettre des appareils d'un poids beaucoup plus élevé qu'en trafic continu.

Ces constatations conduisent à la conception de trois natures de surface (voir fig. 43c) qui portent les noms suivants :

A = piste - surface destinée au roulement normal des appareils,
B = prolongement d'arrêt, surface qui, en principe, ne doit être utilisée que pour la partie arrêt d'une manoeuvre accélération-arrêt,
C = prolongement dégagé - surface qui doit seulement pouvoir être survolée.

Les termes anglais correspondants sont :

- pour A : runway
- pour B : stopway
- pour C : clearway.

La définition du prolongement dégagé utilisée par l'O.A.C.I. est un peu différente. Elle fait partir le prolongement dégagé, de l'extrêmité de la piste et non de l'extrêmité du prolongement d'arrêt. Autrement dit, dans la terminologie de l'O.A.C.I., le prolongement dégagé a la longueur (B + C) (figure 43c). Il suffit de le savoir pour éviter tout malentendu.

N.B.- On appelle aussi quelquefois les prolongements d'arrêt "prolongement occasionnellement roulable", ou P.O.R. mais cette expression doit être évitée, le mot "roulable" y étant employé dans un sens incorrect.

Il faut en outre que la longueur A respecte la condition d'atterrissage qui, elle, est indépendante de la vitesse de décision.

Il va de soi qu'une piste devant être en principe utilisée dans les deux sens, si l'on adopte la disposition représentée par la figure 43c, il est nécessaire de prévoir symétriquement et à gauche de la piste, un deuxième prolongement d'arrêt et un deuxième prolongement dégagé.

3,212 Les nouvelles normes d'exploitation permettent donc de remplacer la piste classique par un ensemble plus complexe comportant en principe une piste de longueur inférieure à la piste classique, deux prolongements d'arrêt et deux prolongements dégagés.

En général, cette dernière disposition conduira à des dépenses moins élevées pour la construction des revêtements.

Par contre, les acquisitions de terrains et, généralement, les terrassements seront plus coûteux, l'implantation

de l'ensemble des ouvrages occupant une surface plus étendue que la piste classique. Il pourra même arriver que les dégagements disponibles ne permettent pas pratiquement de réaliser un aérodrome à piste non classique.

Dans certains cas, on aura intérêt à ne pas prévoir de prolongement d'arrêt et à compléter la piste seulement par des prolongements dégagés.

Dans des cas exceptionnels où le site et les conditions d'exploitation s'y prêtent, on pourra se limiter à prolonger la piste à une seule extrêmité, soit par un prolongement d'arrêt et un prolongement dégagé, soit seulement par un prolongement dégagé. Cette dernière solution sera particulièrement économique si la piste débouche sur un terrain plat ou un plan d'eau.

Une étude comparative sera donc nécessaire pour déterminer la solution la plus avantageuse.

Pour ce choix, il faudra faire intervenir, non seulement les considérations de prix, mais également, dans certains cas, les difficultés de transport des matériaux et les délais d'exécution.

La construction du prolongement d'arrêt sera souvent la première étape de l'allongement d'une piste classique.

Il importe en tous cas de souligner que la conception des pistes non classiques n'est pas destinée à se substituer entièrement à la conception des pistes classiques. Elle offre seulement des possibilités nouvelles aux Ingénieurs. On peut observer au surplus que la piste classique n'est qu'un cas particulier des pistes non classiques, à savoir celui où la longueur des prolongements d'arrêt et des prolongements dégagés est nulle.

3,213 <u>Caractéristiques physiques</u>

La largeur des prolongements d'arrêt doit être la même que celle de la piste qu'ils prolongent.

La pente longitudinale des prolongements d'arrêt doit être telle que les pentes locales et moyennes de l'ensemble constitué par la piste et chacun de ses prolongements d'arrêt satisfassent aux règles énoncées plus haut pour les pistes classiques.

Les prolongements d'arrêt devront être constitués de manière à pouvoir supporter occasionnellement le trafic que la piste doit pouvoir supporter d'une manière continue.

Il suffira, dans certains cas, de procéder à un drainage et à un engazonnement des prolongements d'arrêt. Dans d'autres cas, il serait nécessaire de prévoir la construction d'une fondation.

En règle générale, on peut dire que les prolongements d'arrêt devront être traités par comparaison avec la piste comme un terrain de secours.

Il en résulte, d'après ce qui a été exposé au sujet de la résistance des pistes que l'on peut admettre pour les prolongements d'arrêt, la résistance de la catégorie inférieure à celle de la piste dans la classification française.

Les prolongements dégagés apparaissent comme un prolongement de la bande. Il en résulte, notamment, que la largeur des prolongements dégagés doit être égale à celle de la bande.

En principe, les prolongements dégagés doivent se trouver à l'intérieur de l'aérodrome. Ce ne sera pas toujours possible; par exemple, le prolongement dégagé pourra, dans certains cas, être constitué, en tout ou en partie, par un plan d'eau . Il faudra, au minimum , dans ce cas, que cette partie du plan d'eau soit soumise à l'autorité de l'aéroport de telle sorte que cette autorité exerce directement la police de la partie du plan d'eau incorporée au prolongement dégagé.

La pente longitudinale des prolongements dégagés doit également, en principe, répondre, aux mêmes règles que la pente longitudinale des bandes pour la catégorie de l'aérodrome considéré.

3,22 Détermination des longueurs

Les considérations ci-dessus justifient l'introduction des notions de prolongements d'arrêt et de prolongements dégagés.

Il nous reste à voir maintenant comment seront déterminées les longueurs à donner aux trois natures de surface d'une piste non classique. Cette détermination suppose connues les performances des appareils auxquels l'aérodrome est destiné.

3;221 Cas d'un appareil donné

Dans le cas d'un appareil donné, les performances intéressant la détermination des longueurs de la piste et des prolongements d'arrêt, peuvent être représentées en fonction du rapport :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\text{vitesse de décision}}{\text{vitesse d'envol}}$$

comme l'indique la figure 44 où les courbes d_1, d_2 et d_3 représentent respectivement :

- la longueur de roulement au décollage
- la distance accélération-arrêt
- la distance de décollage.

On en déduit que la piste devra avoir une longueur A au moins égale à d_1 . Pratiquement on prendra donc $A = d_1$. De même on prendra pour la longueur d'un des prolongements d'arrêt :

$$B = d_2 - d_1$$

et pour la longueur des prolongements dégagés :

$$C = d_3 - d_2$$

Le point P de la figure 44 donnera la longueur de la piste classique puisque, pour ce point, $d_2 = d_3$, c'est-à-dire la distance accélération-arrêt est égale à la distance de décollage.

On constate que dans le cas particulier de l'appareil dont les performances sont représentées par la figure 44, le point P correspond à une valeur de rapport $\frac{V_1}{V_2}$ = à 0,95.

Le point R de la figure 44 correspond au cas où le prolongement d'arrêt est de longueur nulle ($d_1 = d_2$).

Pratiquement, il n'y a aucun intérêt à considérer des valeurs de rapport $\frac{V_1}{V_2}$ inférieures à celles correspondant au point R, puisqu'il faudrait alors prévoir une longueur de piste plus grande que celle correspondant à R.

Il en résulte que, pratiquement, tous les cas que l'on peut avoir normalement à considérer correspondent à des va-

leurs de rapport $\frac{V_1}{V_2}$ comprises entre celles des points P et R.

La représentation de la figure 44 ne se prête pas facilement à la recherche de lois simples et à une généralisation des résultats obtenus.

Une représentation plus pratique à cet égard est donnée par la figure 45 qui permet de représenter plus clairement les performances de plusieurs appareils sur un même graphique. Sur cette figure les points M et N sont tels que JM = A et M N = B. On en déduit facilement que Q N = C.

Le point R de la figure 45 est celui pour lequel la longueur du prolongement d'arrêt est nulle. Il correspond donc au point R de la figure 44.

De même, le point P de la figure 45 situé sur la bissectrice des axes de coordonnées, correspond au cas où la longueur du prolongement dégagé est nulle, c'est-à-dire au cas représenté par le point P de la figure 44.

L'intérêt de lafigure 45 est qu'elle se prête plus facilement aux comparaisons entre performances d'appareils différents et aux généralisations, puisque les performances de ces appareils sont représentées sur un même graphique.

3;222 Généralisations et simplifications.

Dans la pratique, on peut assimiler le tronçon de courbe PR à un segment de droite. De même, on peut remplacer, la ligne R S T par le segment R W.

Cette dernière simplification est dans le sens de la sécurité puisqu'elle conduit à augmenter la longueur de la piste au détriment du prolongement d'arrêt.

Lorsqu'on reporte sur un même graphique les courbes représentatives d'un certain nombre d'appareils, on déduit de l'équation de la droite PR une relation telle que :
$\underline{A + B + b\,C = P}$, dans laquelle P est une constante pour chacun des appareils considérés.

Quant au coefficient b, il semble assez peu variable dans chaque famille d'appareils. C'est ainsi que l'on a :

b = 1/2 pour le SE 210 Caravelle
b = 2/3 pour le Constellation L. 749 A
b = 3/4 pour le DC.4, le Bréguet 763, le Britannia, le Vanguard,
b = 4/5 pour le Comet.

Pour l'étude générale d'un aérodrome, à défaut de renseignements plus précis sur les performances du matériel volant qui l'utilisera, on pourra prendre :

$b = 1/2$ pour les biréacteurs
$b = 2/3$ pour les duadrimoteurs à pistons ou à turbopropulseurs
$b = 4/5$ pour les quadriréacteurs.

La signification physique de la constante P est évidente. Cette constante est égale à A dans le cas où $B = C = 0$, autrement dit dans le cas où il n'y a ni prolongement d'arrêt, ni prolongement dégagé.

La constante P est donc égale à la longueur de la piste classique équivalente à l'ensemble (A, B, C).

Le coefficient b est toujours inférieur à l'unité. Cela tient à ce que le segment de courbe R P que l'on peut assimiler à un segment de droite a une pente négative. En effet, on a :

$$x = A + B$$
$$y = A + B + C$$

La relation $A + B + bC = P$, valable le long de RP, donne: $dx + b\,(dy - dx) = o$

$$\text{d'où : } b = \frac{dx}{dx - dy} = \frac{1}{1 - \frac{dy}{dx}}$$

$\frac{dy}{dx}$ étant négatif le long de RP, b est inférieur à l'unité.

D'autre part, on constate que dans chaque groupe d'appareils, le rapport $\frac{\text{abscisse du point R}}{\text{abscisse du point P}}$ varie et qu'il est compris, pour les appareils que nous avons pu étudier :

- entre 0,80 et 0,75 pour les quadrimoteurs à pistons ou à turbopropulseurs,
- entre 0,85 et 0,80 pour les appareils à réaction.

Cette observation permet d'énoncer la règle suivante pour le rapport de la longueur de piste construite à la longueur de la piste classique équivalente :

A doit être supérieur ou au moins égal à a P ($A \geqslant aP$)

où a = 4/5 pour les quadrimoteurs à pistons ou à turbo-propulseurs
a = 5/6 pour les appareils à réaction.

Les résultats ci-dessus ne reposent encore que sur l'examen des performances d'un nombre limité d'appareils et sont donc susceptibles de révision. En effet, seul un nombre encore très limité de constructeurs a publié les courbes qui sont nécessaires pour déterminer, en fonction de la vitesse de décision, la distance de roulement au décollage, la distance accélération-arrêt et la distance de décollage. Les valeurs données ci-dessus pour les coefficients a et b peuvent toutefois être considérées comme de bonnes approximations.

De son côté l'O.A.C.I. a donné quelques indications pour servir de guide dans la préparation des plans d'aérodromes. Elles peuvent être énoncées comme suit : "en général une distance égale à environ 15 pour cent de la longueur d'une piste classique peut être aménagée en prolongement d'arrêt et une distance égale à 15 - 20 pour cent environ en prolongement dégagé". Cette règle ne donne aucune indication sur la valeur de "b" ni par conséquent sur celle de la longueur de piste classique équivalente.

Application

Les formules ci-dessus permettent de résoudre les problèmes qui se posent dans la pratique.

Nous allons donner deux exemples de tels problèmes.

1er exemple : Rechercher le système (A,B,C) équivalent pour des quadriréacteurs à une piste classique de 2.100m, la longueur A étant aussi faible que possible.

Les formules ci-dessus montrent que A doit être au moins égal à 5/6 x 2.100m = 1.750m.

Il en résulte que B + bC = B + 4/5 x C = P - A = 350m

Les longueurs du prolongement d'arrêt (B) et du prolongement dégagé (C) sont donc liées par cette relation.

Les deux cas extrêmes seront : B = 0 avec C = environ 440m.
C = 0 avec B = 350m.

<u>2ème exemple</u> : On dispose d'une piste de longueur A et, à chaque extrêmité de cette piste, d'une longueur L susceptible d'être utilisée pour la construction de prolongements d'arrêt et de prolongements dégagés. Comment doit-on aménager la longueur L pour avoir la piste classique équivalente de longueur maximale ?

Les formules du paragraphe 3,222 donnent :

$$P\ max = \frac{A}{a}$$

$$B + bC = A\ \frac{1 - a}{a}$$

$$B + C = L$$

On en tire : $C = \dfrac{1}{1 - b} \left(L - A\ \dfrac{1 - a}{a}\right)$

$$B = \frac{1}{1 - b} \left(A\ \frac{1 - a}{a} - b\ L\right)$$

Trois cas sont à considérer :

<u>1er cas</u> : $L > A\ \dfrac{1 - a}{ab}$

Comme B ne peut pas être négatif, on fera $B = 0$

On en déduit : $C = A\ \dfrac{1 - a}{ab}$

Dans ce cas, le prolongement d'arrêt sera nul et on n'utilisera pas toute la longueur L. La longueur de la piste classique équivalente sera.................. $P = \dfrac{A}{a}$

<u>2ème cas</u> : $A\ \dfrac{1 - a}{a} \leq L \leq A\ \dfrac{1 - a}{ab}$

Dans ce cas, B et C sont positifs, c'est-à-dire que la longueur L devra être aménagée pour partie en prolongement d'arrêt et pour partie en prolongement dégagé.

Les valeurs de B et C sont données par les formules établies plus haut.

On en tire également $P = \frac{A}{a}$

<u>3ème cas</u> : $L < A \frac{1 - a}{a}$

Comme C ne peut pas être négatif, on fera C = 0, c'est-àdire que la longueur du prolongement dégagé sera nulle.

On en déduit : B = L
dans ce cas : P = A + L est inférieur à $\frac{A}{a}$

Valeurs numériques :

Supposons par exemple, que A = 2.000m et que l'étude soit faite pour les appareils munis de moteurs à pistons.
On en déduit :

$$A \frac{1 - a}{a} = 500 \text{ m}$$

$$A \frac{1 - a}{ab} = 750 \text{ m}$$

Dans le 1er cas (L > 750m) on a P = 2.500m. B = 0 C = 750m.
Dans le 2ème cas : 750m ≥ L ≥ 500m

Supposons, par exemple, que L = 600 m.

ON a : B = 300m C = 300m et P = 2.500m

Dans le troisième cas: (L < 500m)

Supposons par exemple que L = 400m, on aura B = 400m. C = 0 et P = 2.400m.

3,3 HYDROBASES

Nous nous étendrons beaucoup moins sur les hydrobases que sur les aérodromes terrestres, car, tout ce que nous avons dit sur le coefficient d'utilisation, la détermination des longueurs de pistes, les corrections de longueur de pistes, s'applique presque intégralement aux hydrobases, en remplaçant les mots "piste" et "bande" par "chenal d'envol".

Nous observerons toutefois que si, pour un aérodrome terrestre, la recherche d'un coefficient d'utilisation aussi élevé que possible permet de déterminer les directions d'envol à adopter, pour une hydrobase, il s'agit, le plus souvent, de vérifier que le plan d'eau utilisable présente un coefficient d'utilisation acceptable. En effet, les plans d'eau artificiels sont exceptionnels et, en règle générale, une hydrobase est aménagée sur un plan d'eau naturel: étang, lac, baie ou fleuve, dont les dimensions doivent être considérées comme données.

3,31 Dimensions des chenaux

Les dimensions recommandées sont résumées par le tableau ci-après, suivant la catégorie d'hydrobases dans la classification française.

	Catégories		
	A	B	C
Longueurs de base des chenaux			
Minimum................	4 km	3 km	1,5 km
Optimum à réserver.....	6 km	4 km	2 km
Largeurs des chenaux			
Opérations à vue :			
Minimum................	300m	200m	150m
Optimum à réserver.....	500m	300m	200m
Opérations aux instruments			
Minimum................	300m	300m	300m
Profondeur des chenaux			
Minimum................	4m	3m	2m
Optimum................	5m	4m	3m

3,32 **Bassins de manoeuvre**

Il est souvent nécessaire de prévoir des bassins de manoeuvre aux extrémités des chenaux pour permettre les évolutions des hydravions.

Leur diamètre doit être au moins égal aux longueurs ci-après :

Catégorie A .... 500 m
Catégorie B .... 400 m
Catégorie C .... 300 m

Leur profondeur est la même que celle des chenaux d'envol.

3,33 **Chenaux de circulation**

Il faut éviter l'utilisation de chenaux de circulation car un hydravion sur l'eau manoeuvre beaucoup moins bien qu'un appareil terrestre à terre. S'il est impossible d'éviter la création de chenaux de circulation, on leur donnera les largeurs minimales ci-après :

Catégorie A .... 150 m
Catégorie B .... 100 m
Catégorie C .... 80 m

Leur profondeur pourra être légèrement inférieure à celle des chenaux d'envol sans toutefois descendre au-dessous des chiffres ci-après :

Catégorie A 3m60
Catégorie B 2m70
Catégorie C 1m80

3,34 **Bassins de stationnement**

Un hydravion au mouillage occupe beaucoup plus de place qu'un avion terrestre à terre, car il doit pouvoir tourner autour de sa bouée, suivant la force et la direction du vent et du courant, sans risquer de rencontrer un autre hydravion, une bouée de mouillage ou tout autre obstacle.

Aussi est-il recommandé que chaque cercle d'évitage ait un rayon égal à environ 1,2 fois la longueur de l'hydravion augmentée de 5 fois la profondeur du bassin. Pour

un appareil de catégorie B ceci conduit à un cercle d'évitage de 1,2 (40 + 15) = 66m de rayon ou 130m de diamètre.

La superficie des bassins de stationnement sera déterminée en fonction de cette condition et du nombre d'appareils en stationnement, calculé d'après les résultats des études de trafic.

CHAPITRE IV

DEGAGEMENTS - SERVITUDES

4,1 GENERALITES

4,11 Mouvements à protéger

Nous avons vu au paragraphe 1,33 qu'il était nécessaire que l'espace soit dégagé de tout obstacle sur une certaine largeur et une certaine hauteur de part et d'autre de la trajectoire suivie par les appareils, pour que les mouvements de ces appareils puissent s'effectuer avec toute la sécurité désirable.

Les mouvements à protéger comprennent des mouvements en vol et des mouvements au sol.

Les mouvements en vol comprennent deux types de mouvements différents :

a) l'atterrissage et le décollage, qui se font sensiblement suivant l'axe des pistes ou bandes d'envol.

Nous comprendrons d'ailleurs ces termes au sens large, en y incluant, notamment, l'approche finale dans le cas d'atterrissage aux instruments, ainsi que le roulement sur la piste soit avant décollage, soit après l'atterrissage, jusqu'au moment où l'appareil dégage la piste.

b) les tours de piste qui se font à une certaine altitude, en tournant autour de l'aire d'atterrissage.

Les mouvements au sol comprennent les mouvements sur les voies de circulation et sur les aires de stationnement.

Dans le présent chapitre IV, nous étudierons seulement les dégagements des aérodromes faisant l'objet du chapitre III précédent : aérodromes terrestres, à pistes classiques ou non classiques, de catégories A, B, C et D; hydrobases de catégories A, B et C. En ce qui concerne les aérodromes faisant l'objet du chapitre V ci-après, il nous a paru

préférable, pouf la bonne compréhension du sujet, de décrire pour chacun d'eux les dégagements en même temps que l'aire d'atterrissage.

4,12 Protection des mouvements en vol
Définition des surfaces de dégagement.

4,121 Généralités - Référence de hauteur.

Les surfaces de dégagement sont définies en fonction des mouvements en vol à protéger.

La définition des surfaces de dégagement nécessite l'adoption d'une cote de référence de hauteur.

L'Annexe 14 de l'O.A.C.I. laisse à l'"autorité compétente" le soin de déterminer "l'élément de référence de hauteur", c'est-à-dire la cote qui intervient dans la définition de certaines parties des surfaces de dégagement.

En France, il est d'usage de définir les cotes des surfaces de dégagement par référence au niveau moyen de l'aérodrome. Dans le cas des aérodromes terrestres, ce niveau est pris égal à la moyenne entre la cote du point le plus bas et celle du point le plus haut de l'aire d'atterrissage, dans son extension future maximale, compte tenu, le cas échéant, des modifications qui pourront être apportées au terrain naturel par les travaux de terrassement à exécuter pour l'aménagement des bandes d'envol (Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes). Le niveau moyen de l'aérodrome est arrondi au nombre entier de mètres le plus proche.

Il convient de souligner que le niveau moyen de l'aérodrome qui intervient dans la définition de certaines parties des surfaces de dégagement ne doit être confondu ni avec la cote du "point de référence de l'aérodrome" qui est le point déterminant géographiquement la position de l'aérodrome (Annexe 14 - Cinquième Edition - lère Partie - Chapitre 1 - Définitions) ni avec la cote du point dont l'altitude intervient dans les procédures d'approche et d'atterrissage ou dans le règlage des altimètres.

Nous examinerons d'abord le cas d'un aérodrome ne comportant qu'une seule piste par direction d'envol, puis nous verrons les dispositions supplémentaires que nécessite le cas des pistes parallèles.

4,122 Aérodromes ne comportant qu'une piste par direction d'envol.

A chacun des deux mouvements en vol à protéger correspondra une partie de la surface de dégagement. On considèrera ainsi :

- d'une part, les trouées qui sont associées aux bandes d'envol et les prolongent de part et d'autre sur une distance plus ou moins grande;

- d'autre part, une surface horizontale et une surface conique qui limitent inférieurement l'espace dans lequel les tours de piste doivent pouvoir s'effectuer en sécurité.

4,122.1 Trouées.

Les trouées comprennent le fond de trouée et des plans latéraux inclinés.

Le fond de trouée est un plan incliné qui a son origine à l'extrêmité de la bande et dont la pente est comprise entre 2% et 4% suivant la catégorie de l'aérodrome et le procédé d'atterrissage (à vue ou aux instruments).

Latéralement la trouée est limitée par des plans inclinés passant par les côtés de la bande et ayant une pente de :

- 20% pour les bandes utilisées à vue;
- 10% pour les bandes utilisées pour l'atterrissage aux instruments.

On voit que les dégagements sont plus sévères pour les bandes utilisées aux instruments, puisque non seulement la bande est plus large, comme nous l'avons vu plus haut, mais encore les plans latéraux qui la prolongent ont une pente plus faible.

Les plans latéraux limitent le fond de trouée suivant deux droites qui s'écartent vers l'extérieur lorsqu'on s'éloigne de la bande, et dont la projection horizontale fait avec l'axe de la trouée, un angle γ dont la tangente varie entre 10% et 20% suivant la catégorie de l'aérodrome et selon qu'il s'agit d'une piste à vue ou aux instruments.

On voit facilement que cet évasement (tg γ) est fonction de la pente (p ou tg α) du fond de trouée et de celle (p' ou tg β) des plans latéraux :

$$\text{tg}\,\gamma = \frac{p}{p'} = \frac{\text{tg}\,\alpha}{\text{tg}\,\beta}$$

Les dispositions de la trouée sont résumées par le schéma ci-joint. (figure 46)

Nous avons raisonné, jusqu'à présent, comme si la bande était rectiligne et horizontale, ce qui répond sensiblement à la réalité.

Toutefois, en toute rigueur, les dégagements latéraux au droit de la bande, ne sont pas limités par des plans, mais par des surfaces réglées ayant pour directrices les longs côtés de la bande, et comme génératrices, des droites contenues dans des plans perpendiculaires au plan axial de la bande et inclinées à 10% ou 20% selon le cas. (On appelle plan axial de la bande le plan vertical qui contient l'axe longitudinal de la bande, ou de la piste s'il en existe une).

Par contre, les faces latérales des trouées au droit des fonds de trouées, sont toujours des plans.

4,122.2 Surface horizontale et surface conique.

La surface horizontale se trouve à une cote "h" au-dessus du plan de référence de l'aérodrome, "h" étant variable suivant la catégorie de l'aérodrome.

Elle est limitée longitudinalement par les droites suivant lesquelles elle est coupée par les deux fonds de trouée correspondant à la bande considérée.

Latéralement, elle est limitée par deux parallèles au plan axial de la bande, situées, en plan, à une distance "d" de l'axe de cette bande, variable avec la catégorie de l'aérodrome.

Les quatre angles du rectangle ainsi défini sont arrondis par des arcs de cercle de rayon égal à $\frac{d}{2}$.

La surface conique est engendrée par une droite qui s'appuie sur le contour limitant le plan horizontal intermédiaire et qui a même pente que le fond trouée; elle est donc constituée par ce fond de trouée à la traversée des trouées.

La surface conique est limitée, vers l'extérieur par un plan horizontal de cote "H" au-dessus du point de référence de l'aérodrome. Lorsque la bande est horizontale, ce plan rencontre le fond de trouée à une distance "D" de l'extrêmité de la bande.

"H" et "D" varient suivant la catégorie de l'aérodrome.

L'ensemble des surfaces de dégagement définies, pour une bande unique, par les deux paragraphes précédents, est représenté par la figure 47.

4,122.3 Cas de plusieurs bandes.

Lorsqu'un aérodrome comporte plusieurs bandes, on traite d'abord isolément le cas de chacune d'elles.

La combinaison des dégagements relatifs aux diverses trouées n'offre pas de difficultés.

Pour le plan horizontal et la surface conique, on pourrait imaginer que l'on définisse d'abord des surfaces séparément pour chaque bande, en fonction de sa catégorie, puisque l'on ne conserve, en chaque point, que la surface de dégagement la plus basse. Ce serait d'une complication qui ne serait pas justifiée par les avantages qu'une telle méthode comporterait pour la protection des mouvements des aéronefs. On procède donc de la manière suivante :

Les cotes h (plan horizontal intermédiaire) et H (partie supérieure de la surface conique) sont les mêmes, pour toutes les bandes principales ou secondaires, et ont les valeurs spécifiées pour la catégorie de l'aérodrome, même pour les bandes secondaires de catégorie inférieure, s'il en existe.

Chaque bande donne lieu à la définition, dans un plan de cote "h" d'un rectangle aux angles arrondis. Il est essentiel de noter que tous ces rectangles se trouvent dans le même plan puisque le niveau de référence est le même pour toutes les bandes.

Soit a b c d e f g h et a' b' c' d' e' f' g' h' les contours relatifs à deux bandes (figure 48).

On mènera les tangentes lm, no, pq et rs extérieures à ces deux contours, ce qui donnera un contour convexe b c l m f' g' n o f g p q r s b ou (C) composé d'arcs de cercles tels que cl, mf' etc... et de segments de droites tels que bc, lm, etc....

Ce contour (C) servira de courbe directrice à la surface conique qui sera engendrée par une droite s'appuyant sur (C) et d'une inclinaison égale à celle des fonds de trouées de la piste principale.

Comme dans le cas d'une bande unique, la surface conique sera limitée extérieurement par le plan de cote "H".

Il peut se faire, dans le cas d'un aérodrome à plusieurs bandes, que la surface conique soit à une cote plus basse que certains fonds de trouée.

Ce sera par exemple, le cas (fig.49) lorsqu'une extrêmité de la surface horizontale telle que f' g' se trouvera à l'intérieur du contour (C).

Le fond de trouée passant par f' g' sera au-dessus de la surface conique s'appuyant sur (C).

Dans ce cas, le fond de trouée sera arrêté à f'g' et au-dessus de la cote h, la surface de dégagement sera constituée par la surface conique.

4,122.4 Pistes aux instruments.

Dans le cas d'atterrissage aux instruments il est nécessaire de protéger le mouvement des appareils sur une distance beaucoup plus grande que dans le cas d'opérations à vue.

Du côté de l'approche, il est évident que les dégagements doivent règner au moins jusqu'à la balise extérieure de l'ILS laquelle se trouve à une distance de l'entrée de piste pouvant atteindre 7 km,5.

En fait, l'O.A.C.I. recommande de prolonger le fond de trouée jusqu'à 15 Km de l'extrêmité de la bande.

L'Instruction française sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes est plus sévère encore puisqu'elle recommande de prolonger le fond de trouée, du côté de l'approche, jusqu'à 20 km de l'extrêmité de la bande.

Du côté de l'envol, la considération de la mauvaise visibilité conduit également à prolonger le fond de trouée pour les bandes utilisées aux instruments.

Toutefois les exigences sont moindres et l'Instruction française recommande seulement de prolonger le fond de trouée jusqu'à 10 km de l'extrêmité de la bande.

4,123 Pistes parallèles

Nous verrons que, lorsque le trafic dépasse une certaine valeur il est nécessaire de construire plusieurs pistes pour une direction donnée.

En principe, ces pistes sont parallèles. Le problème des dégagements à observer entre pistes parallèles, pour permettre une exploitation sûre, pose des problèmes qui sont loin d'être tous résolus.

On doit distinguer plusieurs cas de complexités croissantes.

4,125.1 Pistes utilisées à vue.

Si les deux pistes sont utilisées à vue, les risques de collision entre appareils utilisant chacune de ces pistes sont réduits au minimum.

Il paraît logique d'admettre qu'une sécurité suffisante est assurée pourvu que la section de la surface de dégagement de l'une de ces pistes, par un plan perpendiculaire à celle-ci, n'engage pasle gabarit de l'avion-type maximum circulant sensiblement dans l'axe de l'autre piste.

Les schémas des figures 50 et 51 ci-après montrent que, dans le cas d'un aérodrome de catégorie A, cela conduit à une distance de 185m d'axe en axe des pistes et, dans le cas d'un aérodrome de catégorie B, à une distance de 150m d'axe en axe.

En pratique, on adopte, pour les pistes parallèles à vue, une distance d'axe en axe de 200m , en catégories A ou B et de 150m en catégories C et D.

L'O.A.C.I. recommande un écartement d'axe en axe de 210m pour les pistes A ou B, 150 pour les pistes C et 120m pour les pistes D ou E .

4,123.2 Pistes aux instruments, une piste étant utilisée pour l'atterrissage et l'autre pour le décollage.

Le même principe conduirait, comme le montre la figure 52 à une distance de 335m d'axe en axe pour un aérodrome de catégorie A.

En fait, tous les experts sont d'accord pour estimer qu'une telle distance est insuffisante pour permettre une exploitation simultanée de deux pistes parallèles, en conditions IFR, l'une à l'atterrissage et l'autre au décollage, indépendamment l'une de l'autre. Il est bien évident, en effet, qu'en asservissant les mouvements d'une des deux pistes à ceux de l'autre, on peut éviter les risques inhérents à leur proximité mais il en résulte une diminution du débit des pistes; aussi la question est-elle de savoir la distance à respecter entre les axes des pistes pour que l'on puisse effectuer, en même temps, un décollage sur l'une et un atterrissage sur l'autre.

La tendance actuelle serait de porter cette distance à 900m et même plus si possible, en raison des risques de collision lorsque l'appareil qui se dispose à atterrir doit appliquer une procédure d'approche manquée avec "remise des gaz".

D'ailleurs, le cas de deux pistes parallèles utilisées, en conditions IFR, l'une pour les atterrissages et l'autre pour les décollages se différencie de moins en moins du cas de deux pistes parallèles utilisées pour des atterrissages simultanés, en conditions IFR, que nous allons examiner maintenant.

4,123.3 Pistes aux instruments utilisées simultanément et indépendamment pour l'atterrissage.

Ce cas est de beaucoup le plus délicat. La difficulté provient, non seulement des risques de collision pendant l'approche, l'atterrissage ou l'approche manquée, mais aussi des risques de collision pendant l'attente.

Le problème de l'espacement à respecter entre deux pistes parallèles utilisées pour des atterrissages aux instruments simultanés et indépendants s'est posé, notamment pour la mise au point du plan de masse de l'Aéroport d'Orly, ce qui a conduit le Conseil Supérieur de l'Infrastructure et de la Navigation Aériennes à procéder à un examen attentif de la question.

Dans un avis du 6 avril 1951, le Conseil a estimé qu'il était possible de prendre parti sur ce point et que l'on pouvait admettre que deux pistes parallèles soient utilisées pour des atterrissages simultanés aux instruments, pourvu qu'elles soient espacées de 1.500m, au moins, d'axe en axe.

Cette distance est sensiblement le double de celle que l'on voit sous un angle de 6°, d'une distance de 7 à 8 km; dans ces conditions, les trajectoires d'approche ne risquent pas de se couper entre la balise extérieure de l'ILS et la piste, quelle que soit l'erreur de guidage commise; quant aux risques de collision des appareils en attente ou entre leurs positions d'attente et la balise extérieure de l'ILS, on a admis qu'ilsseraient éliminés par les progrès du guidage et, notamment par la surveillance au radar.

Ce dernier problème peut être considéré actuellement comme résolu sous les réserves suivantes :

- les mouvements se feront sous contrôle radar, notamment entre les circuits d'attente et l'axe de descente de l'ILS équipant chacune des deux pistes. Le radar de surveillance de l'aéroport respectera des caractéristiques minimales bien définies;

- des instructions de contrôle précises seront établies et observées en vue d'assurer, notamment, un espacement convenable des avions au cours du dernier virage, avant l'alignement sur l'ILS et pendant toutes les phases d'approche finale.

Dans ces conditions, les circuits d'attente peuvent être suffisamment éloignés les uns des autres pour éviter tout ridque de collision entre avions en attente.

Il est donc admis, actuellement, que, sous les réserves ci-dessus indiquées, un espacement minimal de 1.500m (5.000 pieds) entre pistes parallèles utilisables simultanément pour des atterrissages aux instruments est acceptable.

4,13 Protection des mouvements au sol

Cette protection conduit à fixer les distances minimales entre voies de circulation, d'une part, pistes, voies de circulation et bâtiments, d'autre part.

Nous avons indiqué dans la 3ème partie du cours, suivant quels principes ces distances étaient calculées et quelles valeurs étaient recommandées pour les différentes catégories d'aérodromes.

4,2 AERODROMES TERRESTRES

4,21 Dimensions des surfaces de dégagement.

Les dimensions des surfaces de dégagement varient, comme nous l'avons indiqué, suivant la catégorie de l'aérodrome.

Pour caractériser les surfaces correspondant à chaque classe, il nous suffit de donner les valeurs des pentes de fond de trouée, de l'évasement du fond de trouée (tg γ) et des grandeurs d, D, h et H, que nous avons définies aux paragraphes 4,122.1 et 4,122.2 ci-dessus.

	Catégories			
	A	B	C	D
Pente de fond de trouée				
Piste à vue...............	2 %	2 %	3 %	4 %
Piste aux instruments.....	2 %	2 %	2 %	-
Evasement du fond de trouée (tg γ)				
Piste à vue...............	10 %	10 %	15%	20 %
Piste aux instruments.....	20 %	20 %	20 %	-
d.........................	3.000m	2.000m	1.000m	500m
D.........................	7.500m	5.000m	3.000m	2.000m
h.........................	50m	50m	30m	20m
H.........................	150m	100m	90m	80m

Cas des aérodromes compotant des bandes de catégories différentes.

Nous avons vu au Chapitre III ci-dessus dans quelles conditions on peut être amené à prévoir, sur un même aérodrome, des pistes en bandes de catégories différentes.

Les surfaces de dégagement seront alors déterminées dans les conditions suivantes :

On adoptera pour les cotes h et H, celles qui correspondent à la catégorie la plus élevée; il importe, en effet d'adopter pour chacune de ces deux cotes, une valeur unique, sur un aérodrome donné, sous peine de rendre le tracé des surfaces de dégagement d'une complexité prohibitive.

Tous les autres éléments relatifs aux diverses bandes auront les valeurs correspondant à la catégorie de chaque bande.

Exemple : Un aérodrome ayant une bande de catégorie B, pour atterrissage aux instruments et une autre bande, à vue, de catégorie C. La bande de catégorie B aura une largeur de 300m et ses fonds de trouées seront inclinés à 2%; la bande de catégorie C aura une largeur de 150m et ses fonds de trouées seront inclinés à 3%. Par ailleurs on adoptera les valeurs h = 50m, et H = 100m respectivement pour cotes du plan horizontal intermédiaire et du pourtour extérieur de la surface conique.

4,22 Justification de la pente du fond de trouée des pistes aux instruments (2 %)

La valeur de 2% adoptée pour la pente des fonds de trouée, peut être justifiée comme suit, en considérant successivement le cas de l'atterrissage et celui du décollage.

a) A l'atterrissage.

Il faut éviter que les minima opérationnels soient exagérément relevés par la présence d'un obstacle qui ne percerait pas le fond de trouée. Il faut, pour cela, tenir compte des dispositions des PANS HAL (Procédures d'attente et d'approche aux instruments de l'O.A.C.I.).

En France, les textes applicables sont les Instructions relatives à l'établissement des procédures d'attente et d'approche aux instruments, à la détermination et à l'utilisation des minima opérationnels (N°5751/SGAC/DNA/1-2 du 3 Novembre 1958 et n° 1489 DTA/O du 13 mars 1967 modifiées, en dernier lieu, le 19 juin 1968).

Les minima opérationnels et, notamment, la hauteur critique, c'est-à-dire la hauteur au-dessous de laquelle une approche ne peut être exécutée de façon sûre à l'aide des seuls instruments de bord dépend, en particulier, de la limite de franchissement d'obstacle (O.C.L.) de la procédure considérée.

Pour déterminer l'O.C.L. il faut d'abord définir la surface de franchissement d'obstacles ou O;C.S. . L'O.C.L. est égale à la hauteur de l'obstacle le plus élevé qui perce l'O.C.S. majorée de la marge de franchissement d'obstacle à respecter au point où l'O.C.S. est percée.

Nous supposerons que la piste est équipée d'un ILS complet dont la trajectoire nominale d'approche finale fait un angle θ avec le plan horizontal. On doit admettre que la trajectoire la plus basse à envisager se trouve au-dessous de la trajectoire nominale, en raison :

- des tolérances admises pour l'ILS;
- de la déviation maximale de l'aiguille de l'ILS avant que la pente de descente de l'appareil ait pu être corrigée.

Le tracé de la trajectoire la plus basse à envisager dépend en outre de la hauteur H du point de repère ILS au-dessus du seuil.

Enfin, la marge à respecter au-dessous de la trajectoire la plus basse à envisager dépend de la catégorie de l'ILS, à savoir :

- ILS de catégorie de performance I qui assure le guidage jusqu'à 60m au-dessus du seuil de piste;
- ILS de catégorie de performance II qui assure le guidage jusqu'à 15m au-dessus du seuil de piste;
- ILS de catégorie de performance III qui assure le guidage jusqu'à la surface de la piste.

Dans ces conditions, avec un ILS de catégorie I, la coupe de l'O.C.S. par le plan vertical passant par l'axe de la piste est donnée par la figure 53, la marge de franchissement d'obstacle, sur la partie de l'O.C.S. qui nous intéresse étant de 30m pour les ILS de cette catégorie.

La distance D est donnée par la formule :

$$D = \frac{30}{tg\ 0{,}6.\theta} - \frac{H}{tg\ \theta}$$

Avec des valeurs normales de θ et de H, à savoir

$\theta = 2°{,}5$
$H = 15\ m$

on a D = 801 m soit 800m

Dans le cas d'un ILS de catégorie II, la marge est seulement de 15m et la formule applicable est $D = \frac{15}{tg\ 0{,}625.\theta} - \frac{H}{tg\ \theta}$

Avec les mêmes valeurs de θ et H, on a D = 205 m.

Si nous reprenons le cas de l'ILS de catégorie I, la comparaison entre son O.C.S. et le plan de fond de trouée incliné à 2% est donnée par la figure 54.

On voit qu'entre les points B et P, un obstacle peut respecter le fond de trouée et percer l'O.C.S. Cela peut conduire, si l'obstacle est voisin de P à une valeur de l'O.C.L. et, par conséquent de la hauteur critique de l'ordre de 90m à 95m, ce qui est trop.

Par contre, il n'y a pas intérêt à chercher systématiquement à obtenir une O.C.L. inférieure à 60m puisque l'ILS de catégorie I n'assure le guidage que jusqu'à cette hauteur au-dessus du seuil.

Il serait donc logique de remplacer le tronçon BP du fond de trouée par la ligne brisée BRP.

On peut d'ailleurs observer que la pente de la droite BR est d'environ 1,6%. Si donc, pour les raisons indiquées plus loin, on a adopté une pente de fond de trouée de 1,5% au lieu de 2%, les obstacles respectant le fond de trouée ne risqueront pas de conduire à l'adoption d'une hauteur critique excessive.

Si on conserve la pente de 2%, on s'efforcera d'éviter, par d'autres moyens, la création, entre les points P' et R' d'obstacles perçant l'O.C.S. et, si cela s'avère impossible, on fixera la hauteur critique en conséquence, mais ce sera regrettable.

La situation est plus satisfaisante dans le cas d'une piste équipée d'un ILS de catégorie II, du moins si l'on ne cherche pas à abaisser la hauteur critique au-dessous de 30m. En effet, avec les normes correspondantes, la distance D' est seulement de 397m et la hauteur PP' de 11m. Si donc un obstacle respectant le fond de trouée perce l'O.C.S., sa hauteur ne dépassera pas 11m et l'O.C.L. correspondante sera de 11m + 15m = 26m.

b) Au décollage.

Pour le décollage les textes à confronter avec l'Annexe 14 ne sont plus les PANS-HAL mais les Annexes 8 (AIR-Navigabilité des aéronefs) et 6 (OPS - Exploitation technique des aéronefs de transport commercial international).

On sait que ces Annexes prévoient actuellement deux méthodes acceptables de conformité ou MAC, la MAC n°1

et la MAC n°2. Nous raisonnerons d'après les prescriptions de la MAC n°2 qui est plus moderne et qui semble devoir supplanter la MAC n°1.

On y distingue la trajectoire brute de décollage et la trajectoire nette de décollage. La trajectoire brute est celle qui résulte de la pente escomptée, telle qu'elle a été déterminée par des essais en vol ou des calculs, ou par une combinaison des deux.

La trajectoire nette se trouve en dessous de la trajectoire brute. Elle tient compte de toutes les variables : variables opérationnelles (poids, altitude, température, pente de la piste, vent) et variables aléatoires.

Il ressort des dispositions "AIR" que "les performances ascensionnelles sont telles que la partie de la trajectoire nette de décollage consignée dans le manuel de vol....., qui s'étend du point de départ jusqu'à une hauteur nette de 120m ne se trouve pas au-dessous d'une droite passant par le point situé à 10m50 de hauteur et ayant une pente de montée uniforme de 0,5% sur les 300 premiers mètres suivie d'une droite ayant une pente de montée uniforme de 2% allant jusqu'au point situé à une hauteur de 120m."

Les dispositions OPS vont donner les distances minimales entre obstacles et trajectoire nette. Il en ressort que la trajectoire nette de décollage, partant du point situé à 10m,50 au-dessus du sol, à l'extrêmité de la distance de décollage nécessaire, assure une marge verticale de franchissement au moins égale à 6m + 0,005 D au-dessus de tous les obstacles situés dans une bande d'une certaine largeur.

Il ressort de l'ensemble des dispositions AIR et OPS que, dans l'hypothèse la plus défavorable, tant en ce qui concerne les variables opérationnelles que la longueur de piste (distance de décollage coïncidant avec la longueur de la bande), il suffirait qu'aucun obstacle ne dépasse la ligne A B C pour permettre en sécurité un décollage au poids maximum permis par les variables opérationnelles (figure 55).

Ce résultat serait atteint si l'on adoptait pour le fond de trouée une pente de 1,5%, puisque la droite BC, prolongée vers la gauche, passe par le point E, extrêmité de la distance de décollage que nous avons supposé coïncider avec l'extrêmité de la bande d'envol.

On se contente cependant, dans le cas général, d'une pente de 2% pour les aérodromes de catégories A et B (et même 3%

pour la catégorie C et 4% pour la catégorie D), car les conditions qui exigeraient une pente de 1,5% pour éviter que les obstacles imposent une limitation du poids au décollage sont très exceptionnelles.

On trouve à cet égard les explications suivantes dans le rapport de la sixième réunion de la Division AGA (Aérodromes, Routes aériennes et Installations au sol) de l'O.A.C.I. qui a procédé à un examen approfondi de cette question en 1957.

"..... dans certaines circonstances défavorables",

des types d'avions lourds" peuvent nécessiter des pentes de surface de dégagement de l'ordre de 1/66 après le décollage. A cet égard, bien que l'on ait reconnu la nécessité de rapporter les surfaces de dégagement aux performances des avions, la Division a estimé qu'il ne serait pas pratique, du point de vue planification générale, de les rapporter à un seul type d'avions ayant les performances minima dans des conditions météorologiques défavorables de température et d'altitude. D'après l'étude des données de performances dont disposait la Division sur un certain nombre d'avions modernes, il est apparu que la pente nette de montée au décollage avec un moteur hors de fonctionnement est, pour les avions typiques et dans des conditions inférieures à la moyenne, de l'ordre de 2,5 à 3%, et qu'ainsi aux fins normales de planification il conviendrait de prescrire une pente de surface de dégagement de 1/50 pour les pistes principales d'aérodromes destinés aux avions de gros tonnage et de 1/40 pour les pistes auxiliaires, étant donné que celles-ci sont normalement utilisées avec un vent debout assez fort".

On peut conclure de ce commentaire que, si la pente de 2% peut être considérée comme normale pour les fonds de trouée des pistes des aérodromes A et B, il pourra être justifié, dans certains cas exceptionnels, d'adopter une pente plus faible sans qu'en aucun cas, il soit utile de descendre au-dessous de 1/66 ou 1,5%. De tels cas exceptionnels peuvent se rencontrer, par exemple, sur les aérodromes d'essais ou sur les aérodromes commerciaux importants.

Il est également recommandé, lorsqu'un aérodrome présente des dégagements naturels meilleurs que les dégagements normaux, de les protéger dans la mesure où ils sont utiles pour améliorer le rendement commercial des aéronefs qui fréquentent l'aérodrome.

Afin de permettre de porter la charge marchande des appareils utilisant un aérodrome au maximum permis par les dégagements réels existants, on établit, pour les principaux aéroports commerciaux, des cartes d'obstacles qui permettent de déterminer exactement la pente de montée minimale admissible et permettent des gains plus ou moins importants dans le chargement des appareils sans que la sécurité en souffre.

4,23 Exemple de surfaces de dégagements

Aérodrome de catégorie B à deux bandes (une à vue et une aux instruments. (Voir figure 56).

4,3 HYDROBASES - DIMENSIONS DES SURFACES DE DEGAGEMENT

Les dimensions relatives aux hydrobases de catégories A, B et C sont respectivement les mêmes que celles des aérodromes terrestres de catégories A, B et C. Il suffit de prendre les chiffres des trois premières colonnes du paragraphe 4,21.

Le niveau à partir duquel sont mesurées les cotes H et h est celui des basses eaux moyennes, pendant le mois de l'année où il est le plus bas.

4,4 EFFETS DE L'ALTITUDE ET DE LA TEMPERATURE

Tout écart entre les conditions ambiantes de température et de pression et les conditions de l'atmosphère-type au niveau de la mer se traduit par une modification sensible des performances des aéronefs et, notamment, des pentes de montée.

En toute logique, il conviendrait donc, de même que l'on corrige les longueurs de pistes en fonction de l'altitude et de la température, de corriger, en fonction de ces deux variables les pentes des fonds de trouées.

Certains experts pensent que la pente de 2% pourrait être ramenée à 1,43 % (ou $\frac{1}{70}$) lorsque la température et la pression diffèreront sensiblement des conditions de l'atmosphère-type au niveau de la mer. Cet avis ne peut être considéré que comme une indication assez vague. En fait, les études faites à ce jour ne permettent pas d'avancer une formule de correction. En outre, nous avons vu plus haut qu'une pente de 1,5% du fond de trouée était suffisante, au décollage, quelles que soient les conditions d'altitude et de température pour permettre

le décollage, sans limitation supplémentaire, d'appareils respectant les recommandations de l'O.A.C.I.

4,5 UTILISATION DES SURFACES DE DEGAGEMENT

Les surfaces que nous venons de définir servent à exprimer les règles relatives :

- à la suppression des obstacles,
- au balisage des obstacles,
- aux servitudes dans l'intérêt de la navigation aérienne.

4,51 Suppression des obstacles

On distingue entre les obstacles massifs et les obstacles minces sans qu'une définition précise, d'ailleurs difficile à mettre au point, en ait jamais été fournie.

On peut dire que l'obstacle massif est celui qui, par sa forme, attire l'attention; l'obstacle mince, au contraire, est celui qui peut facilement passer inaperçu, tel qu'une cheminée, un poteau de ligne électrique.

Il y a d'ailleurs toute une gradation entre l'obstacle vraiment massif, une colline par exemple, et l'obstacle le plus mince, câble électrique ou de transporteur aérien.

En outre, un obstacle mince défilé par un obstacle massif forme un tout avec celui-ci et n'appelle pas de précaution supplémentaire.

Quoiqu'il en soit, ces deux notions d'obstacle massif et d'obstacle mince sont intuitives et les obstacles usuels sont assez faciles à classer dans l'une ou l'autre catégorie.

Aucun obstacle massif ne doit dépasser les fonds de trouée, les plans inclinés latéraux, la surface horizontale, ni la surface conique. On peut donc dire que l'ensemble de la surface de dégagement constitue la surface limite des obstacles massifs.

Dans ces conditions, lorsqu'un projet d'aérodrome est étudié, il convient de chercher à satisfaire les conditions ci-dessus énoncées.

Si l'emplacement choisi ne le permet pas, on recherchera un autre emplacement. Mais il pourra arriver que ce nouvel emplacement présente d'autres inconvénients, par exemple qu'il soit beaucoup plus éloigné de la ville à desservir.

Il faudra rechercher un compromis entre les diverses qualités désirées et cela conduira parfois, soit à poursuivre la suppression de certains obstacles dans les conditions que nous verrons au paragraphe 4,63 ci-après, soit même à tolérer qu'ils dépassent quelque peu la surface de dégagement si leur suppression soulève des difficultés insurmontables.

Il y a là, dans chaque cas particulier, un problème qui soulève des questions d'appréciations et ne peut être résolu que par des ingénieurs expérimentés.

Pour les pistes d'atterrissage aux instruments, il est recommandé, en outre, de dégager de tout obstacle, jusqu'au niveau du sol, à chaque extrêmité de la bande, une aire mesurant 300m de longueur à partir de l'extrêmité considérée de la bande et limitée latéralement par la projection verticale des limites latérales du fond de trouée. Cette mesure est prescrite envue d'un bon fonctionnement de l'ILS.

Les <u>obstacles minces</u> sont plus dangereux que les obstacles massifs parce qu'ils sont moins visibles. Ce danger est encore augmenté pour les lignes électriques, par le courant qui les parcourt.

On prend donc à leur égard une marge de sécurité et on considère qu'ils ne doivent pas dépasser une surface parallèle à la surface de dégagement et située à 10m au-dessous de celle-ci. Cette marge est portée à 25m dans les trouées, pour les lignes électriques à moyenne ou à haute tension, c'est-à-dire pour les lignes de 2ème et 3ème catégories au sens de l'arrêté interministériel du 13 février 1970.

4,52 Balisage des obstacles

Nous laisserons de côté l'étude des caractéristiques du balisage, cette matière faisant partie du cours de balisage, et nous rechercherons seulement quels obstacles doivent être balisés.

Disons tout de suite qu'il n'est pas possible de fixer des règles permettant de résoudre en détail tous les problèmes posés par chaque cas particulier. Ceux-ci sont, en effet, souvent complexes; ils diffèrent beaucoup les uns des autres; en

fait, chaque obstacle doit faire l'objet d'un examen particulier qui permettra de dire s'il doit être balisé de jour et de nuit, ou seulement de nuit.

On peut toutefois énoncer quelques recommandations générales qui serviront de guide.

On balisera les <u>obstacles massifs</u> qui s'élèveraient au-dessus des surfaces ci-après définies.

a) au droit des fonds de trouées, de la surface horizontale et de la surface conique : surface parallèle à la surface de dégagement, située au-dessous de cette surface et à 20m pour les aérodromes de catégories A et B, 10m pour les aérodromes de catégories C et D.

b) au droit des plans latéraux : surface réglée engendrée par une droite située dans un plan perpendiculaire au plan axial de la bande et s'appuyant d'une part sur la limite de la bande ou de la surface parallèle au fond de trouée, d'autre part, sur la limite de la surface parallèle à la surface horizontale.

Ces dispositions sont explicitées par la figure 57 ci-après, dessinée dans l'hypothèse d'un aérodrome de catégorie B.

On balisera <u>les obstacles minces</u>.

a) dans les zones de dégagement des aérodromes s'ils dépassent une surface parallèle à la surface de dégagement et située au-dessous d'elle, à une distance verticale de 30m, pour les aérodromes de catégories A et B, 20m pour les aérodromes de catégorie C et 10m pour les aérodromes de catégorie D.

b) dans les zones de dégagement des aérodromes et sur les points de passage obligés, si leur hauteur, au-dessus du niveau moyen du sol, dans un rayon de 200m dépasse 20m.

Pour <u>les lignes électriques à moyenne ou à haute tension</u> les conditions à observer sont plus sévères et la surface de balisage se trouve au-dessous de la surface de dégagement.

- <u>pour les trouées</u> (fonds de trouées et plans latéraux), à une distance verticale de :

    - 45m pour les aérodromes de catégories A et B
    - 35m pour les aérodromes de catégorie C
    - 25m pour les aérodromes de catégorie D.

-pour la surface horizontale et la surface conique, à une distance verticale de :

- 30m pour les aérodromes de catégories A et B
- 20m pour les aérodromes de catégorie C
- 10m pour les aérodromes de catégorie D.

4,6 SERVITUDES

Les servitudes aéronautiques de dégagement sont des obligations légales imposées aux propriétés voisines des aérodromes, dans l'intérêt de la navigation aérienne.

Les principaux textes actuellement en vigueur sont contenus :

a) dans le Code de l'Aviation Civile;

Articles L.280-1 à L. 280-4
Articles R. 241-1 à R. 245-2
Articles D. 241-1 à D. 245-3

b) dans l'arrêté interministériel du 31 juillet 1963 relatif aux spécifications techniques destinées à servir de base à l'établissement des servitudes aéronautiques, à l'exclusion des servitudes radio-électriques.

Ces textes ont essentiellement pour objet :

a) d'interdire l'identification de tout obstacle dépassant les surfaces définies au paragraphe 4,51 ci-dessus;

b) de permettre à l'Administration de supprimer les obstacles ou parties d'obstacles qui dépasseraient ces surfaces limites.

L'application des servitudes aéronautiques pourra donner lieu au paiement d'indemnités, mais seulement s'il en résulte, pour le propriétaire ou autre ayant-droit, un dommage matériel, actuel et certain.

En vue de l'application de ces diverses mesures, l'Administration dresse des plans appelés plans de servitudes aéronautiques de dégagement qui définissent, en principe, la surface limite des obstacles massifs. Lorsque le relief ou certains obstacles importants percent les surfaces de dégagement théoriques, on remplace ces surfaces théoriques par des coupoles

ou redans qui couvrent le relief naturel ou les obstacles en question, pourvu qu'il n'en résulte pas de graves difficultés pour la circulation aérienne. Les servitudes sont ainsi allégées sous ces coupoles ou redans. Bien entendu, il est tout-à-fait exceptionnel qu'il en soit prévu dans les trouées. Par contre, il est assez fréquent que l'on soit amené à en adopter dans les limites de la surface conique et même de la surface horizontale.

La figure 58 représente un plan de servitudes aéronautiques de dégagement.

Les plans de servitudes aéronautiques de dégagement sont soumis à une conférence entre services publics, puis à une enquête publique. Ils sont approuvés par décret en Conseil d'Etat ou par arrêté ministériel selon que des observations contraires au projet ont été, ou non, formulées au cours de cette conférence ou de l'enquête publique.

En ce qui concerne les lignes électriques, l'Administration peut aussi faire usage de la loi du 15 juin 1906 modifiée par le titre III de la loi du 4 juillet 1935, en vertu de laquelle la construction de lignes nouvelles ne peut être entreprise qu'avec l'accord du Ministre chargé de l'Aviation Civile qui peut imposer la modification des projets dans l'intérêt de la navigation aérienne. En cas de désaccord entre les Ministres intéressés, l'affaire est portée devant le Comité Technique de l'Electricité.

CHAPITRE V

HELISTATIONS

AERODROMES A CARACTERISTIQUES SPECIALES

AERODROMES POUR AVIONS à DECOLLAGE et ATTERRISSAGE COURTS (ADAC)

5,1 - Généralités

Nous avons groupé, dans un chapitre séparé, trois natures d'aérodromes qui se distinguent des aérodromes dont il est question aux chapitres précédents en ce que :

a) les aéronefs auxquels ils sont destinés ont des performances particulières très différentes de celles des avions auxquels sont normalement destinés les aérodromes décrits plus haut;

b) leurs caractéristiques n'ont fait l'objet, jusqu'ici, que de spécifications provisoires.

Les noms figurant dans le titre du présent chapitre sont les noms officiels de ces trois types d'aérodromes mais ils sont souvent désignés autrement :

- les hélistations sont souvent appelées héliports. Il convient de réserver ce dernier nom aux hélistations pourvues d'installations commerciales, par exemple d'une "héligare", comme l'hélistation d'Issy-les-Moulineaux. L'héliport serait alors à l'hélistation ce que l'aéroport est à l'aérodrome;

- les aérodromes à caractéristiques spéciales sont généralement appelés altiports. Ce nom n'a pas été retenu officiellement car les spécifications de ces aérodromes sont valables ailleurs qu'en montagne;

- les aérodromes pour avions à décollage et atterrissage courts sont parfois appelés "stolports".

Les termes d'altiport et de stolport ont l'avantage de la brièveté et il est possible qu'ils soient consacrés par l'usage.

5,2 - Hélistations

Une plateforme pour hélicoptères peut être aménagée sur un aérodrome classique ou bien constituer une hélistation indépendante utilisable seulement par des hélicoptères. Dans les deux cas, les spécifications applicables à la plateforme et à ses dégagements sont les mêmes.

L'établissement de ces spécifications est rendu particulièrement difficile par l'évolution rapide des hélicoptères ou autres aéronefs à décollage vertical et par l'absence de règles d'exploitation analogues aux recommandations de l'annexe 6 de l'O.A.C.I.

Il n'existe, au surplus, aucune recommandation sur les aérodromes pour hélicoptères dans l'annexe 14 de l'O.A.C.I. et c'est seulement le Manuel d'Aérodromes de l'O.A.C.I. qui contient une partie (6ème partie) consacrée aux héliports.

5,21 - Principales caractéristiques d'exploitation des hélicoptères.

L'étude des caractéristiques physiques et des dégagements des hélistations nécessiterait des renseignements précis qu'il est très difficile de recueillir sur les performances des hélicoptères.

On peut toutefois donner, à cet égard, les indications ci-après :

5,211 - Caractéristiques d'exploitation actuelles.

5,211.1 - Vitesse ascensionnelle.

La figure 59 indique, en fonction de la vitesse horizontale de l'hélicoptère, la puissance nécessaire pour le maintenir en vol horizontal (courbe C) et la puissance disponible qui est, en principe, indépendante de la vitesse.

Ces courbes varient en fonction de la température de l'altitude et de l'humidité. Ces variations sont surtout importantes pour la puissance disponible.

En outre, la courbe C varie en fonction du poids total de l'appareil.

Les courbes sont différentes selon le type d'hélicoptère, mais leur forme générale reste la même quels que soient le nombre de rotors et le nombre de moteurs, sous réserve toutefois qu'il s'agisse uniquement de moteurs à pistons.

L'examen des courbes de la figure 59 conduit aux conclusions suivantes :

1°) la puissance nécessaire pour maintenir le vol horizontal est maximale pour le vol à la vitesse maximale et pour le vol stationnaire. Un vent debout important a pour effet de diminuer la puissance nécessaire au vol stationnaire.

Lorsque la température augmente, un hélicoptère lourdement chargé risque de ne pas pouvoir décoller (point B de la figure) à moins que la vitesse du vent soit suffisante.

2°) la vitesse ascensionnelle est maximale pour une vitesse horizontale égale à 40 à 65 % de la vitesse maximale, la différence entre la puissance disponible et la puissance nécessaire pour le vol horizontal étant alors maximale. La montée à la verticale se fera à une vitesse beaucoup plus faible qu'à la vitesse horizontale optimale.

3°) en cas de diminution de la puissance disponible, la droite P_1 est remplacée par la droite P_2; si la vitesse horizontale de l'hélicoptère est alors inférieure à l'abscisse du point A, l'hélicoptère perdra nécessairement de l'altitude.

Cette circonstance peut intervenir pour un hélicoptère monomoteur en cas de baisse de régime du moteur, ou bien pour un hélicoptère multimoteurs en cas de panne de moteur ou de baisse de régime.

Les risques résultant d'une diminution de la puissance disponible sont particulièrement graves au moment du décollage et de l'atterrissage, car c'est alors que la vitesse horizontale est la plus faible.

On peut signaler, par ailleurs, que l'effet de sol est négligeable à une altitude supérieure ou égale au diamètre du rotor.

5,211.2 Descente en autorotation.

La descente en autorotation est possible avec tous les types d'hélicoptères, pourvu que les commandes soient

mises dans la position voulue dans un temps compris entre 0,5 et 2 à 3 secondes.

Il existe des combinaisons de vitesse horizontale et d'altitude qui ne permettent pas d'effectuer en sécurité la manoeuvre de mise en auto-rotation.

Les aires hachurées de la figure 60 contiennent les points représentatifs de ces combinaisons de vitesse et d'altitude. L'aire B n'existe pas toujours.

Dans tous les cas, même hors des aires A et B, une bonne technique de pilotage est nécessaire.

Lorsque des hélicoptères multimoteurs susceptibles de voler dans toutes les conditions de poids, de vitesse, de température et d'humidité avec un certain nombre de moteurs hors de fonctionnement seront mis en service, la figure 60 ne s'appliquera à ces hélicoptères que s'il y a défaillance simultanée de tous les moteurs.

5,212 Conséquences sur l'infrastructure.

En effectuant une descente, l'hélicoptère doit conserver une certaine vitesse horizontale jusqu'à ce qu'il atteigne l'altitude de la partie inférieure de la zone A de la figure 60.

Il en est de même pour le décollage.

On peut en conclure qu'actuellement un atterrissage ou un décollage à la verticale ne présente pas des conditions de sécurité suffisantes et doit, en conséquence être évité.

Il en résulte que le circuit d'approche de l'hélicoptère sera analogue, à échelle plus petite, au circuit d'approche de l'avion classique.

Par ailleurs, il semble que, sauf peut-être au cours d'une descente en autorotation, les hélicoptères soient peu sensibles au vent traversier. Du moins, on n'a donné jusqu'ici aucune limite du vent traversier maximal à respecter.

5,213 Evolution possible des caractéristiques d'exploitation.

Les progrès dans la construction des hélicoptères conduiront à modifier les courbes des figures 59 et 60, mais certains estiment que, sauf évolution imprévue, les caractéristiques essentielles des courbes resteront les mêmes.

Ce dernier point de vue n'est toutefois pas unanimement accepté; notamment, des expériences auraient montré que, après une perte de puissance de 50%, il serait possible à un hélicoptère convenablement conçu d'atteindre, après une perte d'altitude n'excédant pas 30m, une vitesse horizontale suffisante pour lui permettre de maintenir ensuite son altitude, puis de commencer une montée avec un seul moteur.

Ces essais indiqueraient également que, dansle cas d'une perte de puissance de 50%, une descente verticale peut également être effectuée à une vitesse n'excédant pas 150m à la minute, considérée comme assez faible pour éviter un accident sérieux à l'atterrissage.

Il est prudent toutefois de ne pas trop faire état des perfectionnements ultérieurs possibles des hélicoptères lorsque l'on détermine les dimensions et les dégagements à réserver pour les hélistations.

Il semble, en effet, que les exploitants auront toujours une certaine tendance, pour augmenter la charge utile, à prévoir des conditions d'exploitation qui impliquent une manoeuvre dans laquelle la montée ne sera commencée qu'avec une certaine vitesse horizontale.

5,22 Dispositions des hélistations

Il n'existe pas encore de recommandations de l'O.A.C.I. sur les dispositions des hélistations. On peut cependant donner à leur sujet les informations ci-après qui ne doivent pas être prises à la lettre, mais permettraient, le cas échéant, d'examiner les qualités d'un site et d'indiquer les dégagements qu'il serait prudent de sauvegarder.

5,221 Dimensions de l'aire d'atterrissage

5,221.1 Exemples de quelques dimensions adoptées à l'étranger.

Les dimensions suivantes ont été adoptées en Angleterre; toutefois, il n'en est pas donné de justification.

Poids de l'hélicoptère auquel l'hélistation est destinée	Dimensions de l'aire d'atterrissage
1.350 Kg	45m x 45m ou 2 bandes de 45m x 30m en L ou en T
2.700 Kg	60m x 60m ou 2 bandes de 60m x 30m en L ou en T
5.500 Kg	75m x 75m ou 2 bandes de 75m x 45m en L ou en T
6.200 Kg	90m x 90m ou 2 bandes de 90m x 75m en L ou en T

Les dimensions ci-dessus comprennent non seulement l'aire d'atterrissage proprement dite, mais la surface équivalente à la bande d'un aérodrome pour avions classiques.

Des aires d'atterrissage de dimensions beaucoup plus réduites ont été réalisées au CANADA.

C'est ainsi qu'en Colombie britannique, deux plateformes de 5m x 5m ont été aménagées pour des hélicoptères Bell 47.D1 (poids : 1.000 kg); une plateforme de 3m60 x 3m60, surélevée sur échafaudage, a été réalisée pour le même hélicoptère.

Ces installations sont caractérisées par l'absence d'obstacles environnants. D'autre part, la plateforme est munie d'un revêtement (en principe, tapis bitumineux), destiné à éviter la projection de pierres.

Aux Etats-Unis, l'Administration de l'Aviation Civile a procédé, il y a quelques années à des études assez poussées, relatives aux caractéristiques des hélistations destinées à recevoir l'hélicoptère S.55- (poids en charge: 3.100 kgs). Les schémas de la figure 61 ci-jointe indiquent les principales caractéristiques d'une des solutions retenues.

On remarque en particulier que, pour l'atterrissage, une longueur de piste de 150m, comprenant une aire dégagée et l'aire d'atterrissage proprement dite est jugée nécessaire.

5,221.2 Dimensions à adopter pour un projet. Cas général.

Si l'on ne possède que des renseignements généraux sur l'utilisation envisagée pour l'héliport, on pourra adopter les

dimensions recommandées par l'I.A.T.A., c'est-à-dire une plateforme de 120m x 90m à l'intérieur de laquelle sera prévue une piste de 120m x 60m.

Toutefois, s'il est possible de réserver une plateforme de 150 à 200m de long aussi bien située pour l'agglomération à desservir, il sera prudent de la protéger.

Ces dimensions ne sont valables qu'au niveau de la mer, en atmosphère-type. Des corrections d'altitude et de température, généralement plus importantes que pour les avions, sont à prévoir si ces conditions ne sont pas remplies. Aucune règle n'a encore été formulée pour les corrections de longueur des pistes pour hélicoptères; cela est dû sans doute au fait que la notion de distance accélération-arrêt suppose un appareil multimoteurs et que l'on n'a encore qu'une expérience limitée des hélicoptèresw multimoteurs.

Les performances des divers types d'hélicoptères sont d'ailleurs très différentes les unes des autres.

Les corrections de la distance de décollage peuvent être beaucoup plus importantes que pour un avion. Par exemple, pour un hélicoptère Bell 47 H-1, au poids de 1.063 kgs, la distance de décollage définie comme distance permettant le franchissement de l'obstacle de 15m, passe de 230 pieds au niveau de la mer à 345 pieds à une altitude de 2.000 pieds en atmosphère-type. La correction d'altitude, à ce poids, est donc de 25% par tranche de 300m d'altitude, au lieu de 7% pour les avions.

5,222 - Profils en long et en travers de l'aire d'atterrissage.

Aucune recommandation précise n'a été formulée à ce jour. Il est néanmoins reconnu généralement que l'aire d'atterrissage devrait être aussi plate que le permettra l'obligation d'assurer un bon écoulement des eaux.

5,223 - Résistance.

La résistance de l'aire d'atterrissage ne pose pratiquement de problème, à l'heure actuelle, que pour les hélistations à édifier sur des terrasses, au sommet des bâtiments, car il faut tenir compte des effets dynamiques et de l'inégale répartition des charges entre les roues, au moment de l'impact.

On pourra appliquer, en ce cas, la règle suivante.

On admettra qu'une charge égale au 3/4 du poids total de l'hélicoptère et répartie sur un carré d'un pied de côté

peut être appliquée en tout point de la plateforme.

On admet que les efforts horizontaux résultant d'un atterrissage plus ou moins brutal sont négligeables, sauf cas particulier, devant les efforts horizontaux dûs au vent.

5.224 Dégagements

La forme générale des surfaces de dégagement résulte de ce que nous avons dit plus haut au sujet du circuit d'approche des hélicoptères. Elles devraient comprendre, en principe, une ou plusieurs trouées, une surface horizontale et une surface conique.

En fait, on s'est surtout attaché à définir les caractéristiques des trouées, les hélicoptères faisant en général des approches directes et les tours de pistes, s'ils sont nécessaires, pouvant toujours s'effectuer dans une région dépourvue d'obstacle.

En outre, il n'est généralement prévu qu'une seule piste sur une hélistation. La surface de dégagement ne comportera donc, en principe, qu'une trouée.

Dans le cas général, toutes les fois que le site le permet on appliquera aux caractéristiques de cette trouée les recommandations de l'I.A.T.A. qui sont définies par la figure 62 ci-après et qui comportent, en particulier, une pente de 12 % pour le fond de trouée.

Si les conditions locales ne permettent pas d'assurer ou de faire respecter les dégagements définis par la figure 62, on pourra se contenter des dispositions un peu moins favorables définies par la figure 63 qui doivent être considérées comme minimales et qui comportent, en particulier, un fond de trouée incliné à 18%.

Pour des opérations à vue, il suffit que la trouée soit rectiligne sur environ 300m, à partir de l'aire d'atterrissage; au-delà, il est possible d'admettre une trouée courbe, si cela est nécessaire pour éviter certains obstacles. En principe, le rayon de la partie courbe de la trouée pourrait atteindre environ 750m de telle sorte que l'hélicoptère fasse un virage de 180° sur un diamètre de 1.500m.

Dans le cas où les obstacles voisins l'exigeraient, il est également possible d'admettre que l'axe rectiligne de la trouée fasse un angle atteignant au maximum 15° avec l'axe de la bande.

5,225 - Cas particuliers

Les caractéristiques données aux paragraphes 5,221.2 - 5,222 - 5,223 et 5,224 s'appliquent, comme nous l'avons dit plus haut à défaut de précisions sur les types d'hélicoptères qui fréquenteront l'hélistation. On peut dire que ce sont les caractéristiques-types d'une hélistation destinée au trafic commercial, ou héliport. Mais on a été amené à prévoir, pour certaines utilisations, des caractéristiques qui s'éloignent considérablement de ces caractéristiques-types. C'est ce que vont montrer les deux exemples suivants.

5,225.1 - Hélistation pour hélicoptère "Superfrelon".

Pour cet hélicoptère monorotor, trimoteur, pesant environ 12,5 tonnes au poids maximal, on a admis qu'il fallait une piste de 350m x 40m implantée dans l'axe d'une bande de 100m à 110m de largeur.

La pente des fonds de trouée ne doit pas dépasser 10% jusqu'à 1.000m de l'extrémité de la bande et même, si possible, 6%. L'évasement du fond de trouée est de 25 %.

5,225.2 - Hélistations dans les agglomérations.

De nombreux projets d'hélistation ont été présentés au cours des dernières années, en vue de la création d'hélistations situées dans les agglomérations et destinées, en particulier, à la desserte d'hôpitaux. Il s'agit, en général de plateformes destinées à des appareils relativement légers le plus souvent utilisés dans des missions à caractère humanitaire : transport de malades nécessitant un traitement urgent, transport de blessés.

Nous ne parlerons pas des assouplissements apportés, dans ce cas aux formalités administratives applicables aux créations d'aérodromes. Du point de vue technique, les spécifications suivantes sont admises. (voir figure 64) L'aire de prise de contact, de diamètre d, se trouve à l'intérieur d'une aire dégagée circulaire, de diamètre D. Les dégagements, à l'extérieur de cette aire, sont à 18% dans la trouée unique et à 100% autour de l'aire dégagée, en dehors de la trouée. Si l'hélistation n'est utilisée que de jour, les dégagements peuvent partir du sommet d'un cylindre de 20m de hauteur, ayant comme base, l'aire dégagée de diamètre D. Les valeurs de d et D varient avec le type d'hélicoptère dont l'utilisation est prévue, selon les indications du tableau suivant.

Types d'hélicoptères	d	D
monomoteurs légers..................	7 m	30 m
bimoteurs moyens....................	7 m	45 m
multimoteurs lourds.................	11 m	60 m

Ces spécifications paraissent optimistes en ce qui concerne les multimoteurs lourds bien que, lorsqu'il s'agira de vols intéressant la sauvegarde de vies humaines, certaines dérogations aux normes courantes soient admissibles. En outre, ces appareils sont encore bruyants et leurs vols à faible altitude, au-dessus des villes, serait difficilement admissible.

On s'efforcera d'aménager ces plateformes urbaines au-dessus des immeubles mais il sera souvent nécessaire d'utiliser un emplacement au niveau du sol; c'est pourquoi les dégagements ont été adoucis dans le cas des hélistations utilisées uniquement de jour.

Dans tous les cas, il faudra tenir compte de l'existence possible de turbulences aux abords des structures de grande hauteur.

5,3 - Aérodromes à caractéristiques spéciales (ou altiports).

La naissance des altiports est la conséquence du succès de l'aviation de montagne utilisée principalement pour le transport de skieurs et touristes jusqu'aux stations de sport d'hiver et même jusque sur les champs de neige ou les glaciers.

Cette aviation de montagne s'est d'abord contentée de plateformes qui n'étaient pas spécialement aménagées pour recevoir des aéronefs et qui, par conséquent, n'étaient pas des aérodromes : on les appelle "avisurfaces". Mais certaines de ces plateformes ont reçu un aménagement et ont un caractère de permanence qui en fait de véritables aérodromes; ce sont les aérodromes à caractéristiques spéciales ou altiports (s'ils sont aménagés en montagne).

Les caractéristiques fondamentales de ces aérodromes sont que :

1°) La piste unique a une pente accentuée qui est utilisée pour ralentir l'avion à l'atterrissage et pour l'accélérer au décollage, effectué en sens contraire de l'atterrissage;

2°) La piste unique n'a qu'une trouée, du côté du point bas de cette piste.

Le caractère 2°) est la conséquence presque obligée du 1°).

L'atterrissage se faisant face au relief, la remise des gaz sera le plus souvent impossible, au moins en courte finale, et l'atterrissage amorcé devra s'achever quoi qu'il arrive. La pente longitudinale assez forte de la piste permet de réduire la longueur nécessaire tant à l'atterrissage qu'au décollage. L'aire de trafic trouve naturellement sa place au voisinage du haut de la piste ce qui supprime pratiquement toute circulation au sol.

Les fortespentes et les intempéries font qu'il est recommandé de revêtir les pistes et les aires pour éviter leur érosion. A défaut de piste revêtue, l'altiport ne pourra sans doute être ouvert à la circulation aérienne qu'en période d'enneigement.

Les altiports n'ont encore fait l'objet que de spécifications provisoires.

Les caractéristiques physiques recommandées sont les suivantes.

- longueur minimale de la bande : 300m avec un profil en long se rapprochant de celui qui est représenté sur la figure 65. On admet que cette longueur de 300m est équivalente à 600m en terrain plat;

- largeur de bande : minimum 30m, maximum 40m, comportant une piste revêtue de 20 à 25m et deux accotements stabilisés;

- profil en travers : comme pour les aérodromes de catégorie D.

Des pentes plus faibles que celles de la figure 65 peuvent être adoptées, surtout si l'aérodrome doit être utilisé en dehors des périodes d'enneigement, mais :

- la longueur de la piste doit être majorée en conséquence;
- une pente minimale de 10% est indispensable pour permettre le décollage sur skis.

Le stationnement des aéronefs se fera à 35m au moins de l'axe de la bande.

Les surfaces de dégagement pourront être dessinées comme l'indique la figure 66. Le plan horizontal intermédiaire sera à 20m au-dessus de l'extrêmité haute de la bande. En principe, la trouée sera horizontale sur une longueur d'au moins 500m à partir de l'extrêmité inférieure de la bande mais une trouée courbe descendante pourra être imposée par la forme de la vallée sur laquelle débouche l'altiport.

Il est difficile de parler d'altiports sans dire quelques mots des restrictions d'utilisation qui leur sont applicables. Ces restrictions portent sur les types d'appareils et sur la qualification des pilotes.

D'autre part, il convient d'attirer l'attention sur les risques provenant du fait que les atterrissages et les décollages se font en sens opposés, en utilisant une seule trouée. Il en résulte que la mise en place d'un service de contrôle de la circulation aérienne doté de moyens de liaison air-sol appropriés se révèlera nécessaire pour un trafic très inférieur à celui qui exigerait un tel service de contrôle, sur un aérodrome classique.

5,4 - Aérodromes pour avions à décollage et atterrissage courts.

Les aérodromes pour avions à décollage et atterrissage courts (STOL en anglais, ADAC en français) parfois appelés "Stolports" suscitent actuellement de grands espoirs, car on espère, grâce à eux, pouvoir améliorer la desserte aérienne du centre des grandes villes et faciliter la solution de certains problèmes de circulation aérienne.

On peut d'ailleurs concevoir soit des stolports, soit la construction, sur un aérodrome classique, de pistes pour avions STOL. Il n'existe actuellement aucun aérodrome destiné uniquement aux avions à décollage court; par contre des pistes pour STOL sont prévues sur quelques grands aérodromes.

Les caractéristiques physiques des aérodromes pour avions STOL sont difficiles à établir car le nombre d'aéronefs commerciaux répondant vraiment à ce que l'on attend d'un avion STOL est extrêmement limité. Nous ne pouvons guère citer que le Bréguet 941.

Les caractéristiques retenues provisoirement par la FAA pour les "Stolports" sont les suivantes :

Longueur de bande : 600m
Longueur de piste : 540m
Largeur de piste : 30m
Angle de descente : 7°30'
Pente de fond de trouée : 1/15
Manoeuvre d'approche : voir figure 67.

Distance entre axes de pistes exploitées simultanément et indépendamment aux instruments (2 pistes pour STOL ou 1 piste pour STOL et 1 piste classique) : 1.500m.

A vue, on peut descendre à 150m d'axe en axe entre deux pistes STOL et à 210m d'axe en axe entre piste STOL et piste classique.

Les caractéristiques minimales des <u>dégagements</u> pour avions à décollage et atterrissage courts ont fait l'objet récemment d'une étude très intéressante de l'Aéroport de Paris.

Cette étude est basée sur les performances de l'avion Bréguet 941.

Ses résultats sont résumés dans le tableau suivant et illustrés par la figure 68.

<u>Tableau</u>

(les lettres h, H et D ont la même signification que dans le chapitre ci-dessus relatif aux dégagements).

Caractéristiques		A vue	A M V
Dimensions	D_1	600 m	1.000m
	D_2	1.800 m	(7.000m côté approche (3.500m côté opposé
	d	600 m	600 m
	d_1	150m	300 m
	d_2	600 m	600 m
	R_1	300 m	300 m
	R_2	900 m	900 m
Altitudes au-dessus du point moyen de l'aire d'atterrissage.	h	+ 60 m	+ 60 m
	H_1	+ 180 m	(420m côté approche (210m côté opposé
	H	+ 120 m	+ 120 m
Pentes	tg α	0,10	0,06
	tg β	0,40	0,20
	tg γ	0,25	0,30
	tg ξ	0,10	0,10

CHAPITRE VI

LE PROBLEME DU BRUIT

Le bruit émis par les aéronefs est à prendre en considération dans l'examen de nombreuses questions intéressant la conception des aérodromes civils, selon qu'il affecte, par exemple :

- le service des aéronefs sur les aires de stationnement (aires de trafic ou aires d'entretien);

- les usagers de l'aérodrome et, notamment, les passagers pendant leur séjour dans l'aérogare;

- le voisinage de l'aérodrome.

Il y a donc des problèmes de bruit et non un problème du bruit. Nous ne parlerons, dans le présent chapitre, que du problème du bruit au voisinage des aéroports qui est celui dont l'acuité devient de plus en plus grande. Bien entendu, certaines données de caractère général trouvent aussi leur application dans l'examen des autres problèmes de bruit.

6,1 - Définitions et rappel de notions d'acoustique.

Le son est une sensation perçue par le nerf auditif et résultant du mouvement des molécules d'air au passage d'ondes sonores.

Une onde sonore est un phénomène purement physique, dont l'étude ne fait pas appel à d'autres lois qu'à celles de la physique. Par contre, l'effet du passage d'ondes sonores sur des individus, fait intervenir des phénomènes physiologiques et même psycho-physiologiques qu'il est difficile de relier aux phénomènes physiques dont ils sont la conséquence.

6,11 Le mouvement vibratoire des molécules d'air, au passage d'une onde sonore peut être représenté en portant en abscisse le temps et, en ordonnée, une grandeur qui lecarac-

térise, par exemple le déplacement d'un point matériel du gaz par rapport à sa position moyenne ou encore la valeur de la pression.

La pression sonore appliquée à l'unité de surface effectue un certain travail auquel correspond une puissance sonore par unité de surface.

Les grandeurs qui caractérisent la vibration sonore se reproduisent un certain nombre de fois dans l'unité de temps, identiques à elles-mêmes si le mouvement est périodique, ou avec des variations plus ou moins sensibles si le mouvement est pseudo-périodique. Ce nombre est la fréquence de la vibration, mesurée en cycles par seconde ou hertz. La période est l'inverse de la fréquence.

Si la vibration est sinusoïdable, on dit que l'on a affaire à un son pur ou à une fréquence pure.

Cette notion de fréquence pure a, d'ailleurs, un caractère quelque peu théorique. En effet, un son, en général, n'est pas décomposable en somme de fréquences pures. Le "spectre" d'un son étant représenté, en fonction des fréquences f, par la courbe $\frac{dp}{df}$ où dp est la puissance mesurée dans l'intervalle de fréquence df, à une fréquence pure correspond une ordonnée infinie, si dp n'est pas nul. Théoriquement, la puissance correspondant à une fréquence pure n'est donc pas mesurable.

Un son musical est un son complexe formé d'un son pur fondamental et de divers harmoniques.

On n'a pas encore pu donner une définition pleinement satisfaisante d'un bruit. Pour le sujet qui nous occupe, on peut considérer qu'un bruit est un son complexe non musical présentant un caractère désagréable.

La sensibilité de l'oreille au son dépend de la fréquence et varie selon les individus. Le domaine des fréquences audibles est compris entre 20 à 10.000 hertz.

L'intensité acoustique d'un son est une grandeur physique. C'est la valeur moyenne de la puissance correspondant au travail de la pression sonore appliquée à l'unité de surface. Elle s'exprime, par exemple, en watts par cm2.

L'intensité acoustique d'un son pur est proportionnelle au carré de l'amplitude de la vibration et au carré de la fréquence.

L'intensité acoustique d'un son musical est égale à la somme des intensités acoustiques des sens purs qui le composent. Celle d'un son complexe non musical est seulement approximativement égale à la somme des intensités acoustiques des sons qui le composent. Dans la pratique, on se contente de cette approximation.

Le <u>niveau d'intensité acoustique</u> (ou niveau sonore) s'exprime en décibels. On a défini un seuil conventionnel d'audibilité qui est égal à l'intensité minimale audible, pour un observateur normal et pour la fréquence de 1.000 hertz. Cette intensité minimale est prise égale à 10^{-16} watts par cm2. (NB - L'amplitude qui lui correspond est de l'ordre du milliardième de cm). Le niveau d'intensité acoustique est donné par la formule :

$N = 10 \log \frac{I}{I_o}$ où I est l'intensité acoustique du son considéré

et I_o celle correspondant au seuil d'audibilité.

En exprimant I et I_o en watt par cm2, on a :

$$N = 10 \log \frac{I}{10^{-16}} = 160 + 10 \log I$$

Le décibel correspond à peu près à l'accroissement minimal d'intensité acoustique perceptible pour une oreille normale, qui est de 25%. En effet, $N_2 - N_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log$

$1{,}25 = 10 \times 0{,}097$ soit sensiblement 1.

Les <u>niveaux sonores ne s'additionnent pas</u>. Lorsqu'on veut déterminer le niveau sonore d'un son complexe formé par la superposition de plusieurs sons de niveaux sonores N_1, N_2, N_3,...., il faut calculer les intensités acoustiques correspondant à ces divers sons, puis les ajouter et en déduire le niveau sonore résultant.

Des calculs simples montrent que :

- le niveau sonore est augmenté de 3 décibels lorsque l'intensité acoustique est multipliée par deux;
- lorsque deux sons ont des niveaux sonores dont la différence atteint 10 décibels, le niveau sonore du son résultant ne dépasse que de 0,4 décibels le niveau sonore du son le plus intense. Le son le moins intense peut donc pratiquement être négligé.

La courbe de la figure 69 permet de déterminer très rapidement le niveau sonore d'un son formé par la superposition de deux sons dont les niveaux sonores sont connus.

Voici quelques exemples de niveaux sonores :

60 - 70 Db - conversation ordinaire, à 1m
80 - 90 Db - grand orchestre dans une salle de concert
100 - 110 Db - moteur d'avion sous capot, à 10 m
130 - 140 Db - banc d'essai de moteur non insonorisé, à 3m.

Le seuil de la douleur, pour une fréquence de 1.000 hertz, est d'environ 120 décibels.

6,12 L'appréciation de l'intensité des sons par l'oreille fait intervenir la sensation auditive qui n'est pas une grandeur physique et n'est donc pas mesurable.

On a pu, toutefois, comparer, du point de vue de leur intensité, les sensations sonores produites par deux sons de hauteurs différentes.

On a ainsi tracé les courbes (voir figure 70) représentant, en fonction de la fréquence le niveau d'intensité acoustique de sons purs (ou plutôt pratiquement purs) produisant dans l'oreille la même sensation d'intensité.

Chacune de ces courbes représente un certain niveau d'isosonie (ou de bruyance). Le niveau d'insosonie s'exprime en phones. Le niveau d'isosonie P (phones) est le niveau d'intensité acoustique du son de fréquence 1.000 hertz qui, d'après les courbes de la figure 70 (courbes de Fletcher et Munson) a pour l'oreille la même intensité que lui. On voit, par exemple, qu'un son de fréquence 90 hertz de niveau d'intensité acoustique (ou niveau sonore) égal 65 décibels à un niveau d'isosonie de 40 phones.

Les courbes de Fletcher et Munson montrent que c'est entre 3.000 et 4.000 hertz que l'oreille est la plus sensible aux sons purs.

Le sone dérive du phone par une transformation inverse de celle qui permet de passer de l'intensité acoustique au niveau d'intensité acoustique. On établit, en effet, entre le niveau d'isosonie P et la sonie (ou bruyance) mesurée en sones, la relation :

$$P = a + b \log S \quad \text{avec } a = 40$$

$$b = \frac{10}{\log 2}$$

$$\text{D'où } S = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 2^{\frac{P-40}{10}}$$

L'évaluation du niveau d'insosonie d'un son complexe à partir des sons purs qui le composent a un caractère théorique car il n'existe pas de sonomètre permettant d'isoler les fréquences pures dans un son complexe.

On a donc considéré un son-type dont les fréquences sont comprises dans la bande de 300-600 hertz et les intensités acoustiques réparties, dans cette bande, suivant une loi bien déterminée.

Les sons comparés à ce son-type sont eux-mêmes des sons composés de fréquences comprises entre certaines limites (octaves, demi-octaves ou tiers d'octaves), dont les intensités acoustiques sont réparties suivant les mêmes lois. Dans le cas où l'on répartit les fréquences par octaves, les limites sont les suivantes, étant observé que le premier et le dernier intervalles ne sont pas des octaves :

20	-	75	hertz
75	-	150	"
150	-	300	"
300	-	600	"
600	-	1200	"
1200	-	2400	"
2400	-	4800	"
4800	-	10000	"

On obtient ainsi une série de points que l'on relie par des segments de droites et qui portent un numéro exprimant en phones leur niveau d'isosonie qui correspond au niveau sonore du son-type équivalent pour l'oreille, dans la bande 300-600 hertz (voir figure 71 courbes de Stevens).

On passe du niveau d'isosonie à la sonie exprimée en sones par la même formule que plus haut.

Stevens a donné la formule empirique suivante qui permet de déterminer la sonie d'un son complexe en fonction des sons qui le composent dans les différentes octaves :

$S_t = S_m + 0{,}30 \; (\sum S - S_m)$ où :

S_t est la sonie globale

S la sonie dans une octave

S_m le maximum de S

Lorsque l'analyse est faite par tiers d'octave, le coefficient 0,30 doit être remplacé par 0,15.

6,13 Pour l'évaluation de la gêne causée par un bruit, on fait intervenir d'autres unités, à la suite des travaux de Bolt, Beranek et Newman. Ces chercheurs ont repris les travaux de Stevens mais en demandant aux observateurs si le bruit à comparer était plus ou moins acceptable ou encore plus ou moins gênant (et non plus ou moins intense) que le bruit étalon. D'autre part, le son étalon était un son-type dont les fréquences se distribuaient dans la bande 600 - 1.200 hertz (selon une répartition dite de Gauss) des intensités sonores.

B.B.N. ont appelé "perceived noiseness" (en français : bruyance perçue) le caractère mesuré en noys que présente un bruit d'être plus ou moins acceptable ou gênant.

Ils ont appelé "perceived noise level" (en français : niveau de bruit perçu), exprimé en décibels de bruit perçu (ou PNdB), d'un son X le niveau sonore du son-type que l'observateur moyen estime aussi acceptable ou gênant que le son X.

Les noys N sont liés aux PNdB par la même transformation qui fait passer des sones aux phones et qui peut s'écrire :

soit $\text{PNdB} = 40 + \frac{10 \log N}{\log 2}$

soit $\text{PNdB} = \frac{1,2 + \log N}{0,03}$

La figure 71 donne les courbes d'égale "bruyance perçue" de B.B.N. (en tiretés).

Des études plus précises ont conduit aux courbes d'égale bruyance perçue, cotées en noys, de la figure 72.

La bruyance perçue, en noys, d'un son courant, s'obtient en appliquant la formule d'addition donnée par Stevens pour les sones.

Les plus récents travaux dans le domaine de la gêne dûe au bruit ont conduit à la définition d'une nouvelle grandeur, le niveau effectif de bruit perçu ou E. PNL qui s'exprime en E.PNdB et qui intervient dans la certification acoustique des avions, récemment adoptée par l'O.A.C.I.

On s'est rendu compte, en effet, que le PNdB n'est pas une unité idéale de mesure de la gêne provoquée par différents bruits. D'une part, le pouvoir séparateur de l'oreille iden-

l'émergence de fréquences isolées dans le spectre, d'où la nécessité d'introduire une pondération supplémentaire dans le cas où des fréquences pures ou des bandes étroites de fréquences émergeraient du spectre du bruit. Ce niveau de bruit perçu corrigé des irrégularités spectrales est le TPNdB. De plus, la durée ou la soudaineté du bruit interviennent dans le jugement des auditeurs sur l'importance de la gêne causée par un bruit, d'où l'introduction d'une correction destinée à compenser cet effet. L'unité en résultant est le PNdB effectif ou E.PNdB. Le bruit pour lequel il a été jugé nécessaire d'appliquer la correction de durée a été limité à 90 PNdB, ce qui représente le niveau de bruit ambiant en zone urbaine.

L'évaluation du niveau effectif de bruit perçu E.PNL s'effectue comme suit.

D'une façon générale, on a :

E.PNL = PNL + T + D avec :

T = correction pour sons purs

D = correction pour tenir compte de la durée du bruit.

Ces deux corrections varient d'un appareil à l'autre. L'ordre de grandeur de l'écart entre les niveaux de bruit perçu exprimés en PNdB et les niveaux effectifs de bruit perçu exprimés en E. PNdB est le suivant :

- pour les biréacteurs, E.PNdB - PNdB = + 5,5
- pour les triréacteurs, E.PNdB - PNdB = + 4,5
- pour les quadriréacteurs, E. PNdB - PNdB = + 3,5

6,14 Pour mesurer les niveaux sonores et les niveaux d'insosonie, on se sert de sonomètres, instruments qui comprennent un microphone, un amplificateur et un voltmètre.

Le microphone étant sensible aux variations de pression, c'est l'intensité acoustique des sons que mesure le sonomètre dont les cadrans sont gradués en décibels.

Pour analyser le bruit reçu par l'instrument on utilise une série de filtres passe-bande qui filtrent les forces électromotrices octave par octave ou tiers d'octave par tiers d'octave. Un bruit est alors déterminé soit par 9 chiffres (niveau sonore global et niveau sonore dans les huit octaves) soit par 25 chiffres (cas de l'analyse par tiers d'octaves).

Les courbes déjà vues ou des tableaux permettent ensuite de passer, pour chaque bande de fréquence, soit en sones, soit en noys, puis de combiner soit les sones soit les noys et, enfin, d'en déduire les phones ou les PNdB du bruit global.

Certains sonomètres sont équipés de trois filtres, quelquefois nommés réseaux pondérateurs dont les caractéristiques ont été définies par l'American Standard Association. Les courbes de réponse de ces filtres sont sensées représenter des contours d'égale bruyance. Elles sont appelées courbes A, B et C ou courbes de réponse à 40 dB, 70 dB (de pression sonore) et linéaire.

La courbe de réponse A est utilisée pour des niveaux sonores inférieurs à 55 dB de pression sonore, ce qui correspond à environ 100 dB de puissance sonore.

6,15 En pratique, les unités effectivement utilisées varient selon le problème étudié :

- pour la certification acoustique des avions, on utilise le E. PNdB, selon les recommandations de l'O.A.C.I. ;

- pour l'évaluation de la gêne qui est susceptible d'être causée par le trafic d'un aérodrome aux abords de celui-ci, l'O.A.C.I. a laissé à chaque Etat le soin d'adopter une méthode; en France, on utilise l'indice isopsophique que nous définirons plus loin et qui est dérivé du PNdB;

- pour les mesures de niveaux de bruit aux abords d'un aérodrome, on utilise le décibel A, selon les recommandations de l'O.A.C.I.

6,2 - Lutte contre la gêne dûe au bruit des avions.

Les principaux moyens employés pour limiter le bruit causé par les avions au voisinage des aérodromes sont :

a) la limitation du bruit à la source, c'est-à-dire la fabrication et l'utilisation de moteurs d'avions moins bruyants;

b) les procédures antibruits;

c) l'insonorisation des locaux;

d) la réalisation d'écrans boisés.

Nous allons les examiner successivement.

6,21 - Limitation du bruit à la source - Certification acoustique des avions.

L'apparition de réacteurs à double flux et la mise au point de certains revêtements intérieurs ou autres procédés permettant de diminuer le bruit produit par les moteurs d'avions ont permis la fabrication de moteurs beaucoup moins bruyants, à puissance égale, que les moteurs à réaction des appareils en service il y a quelques années.

Ces progrès ont permis un accord international sur la certification acoustique des avions pour laquelle l'O.A.C.I. a adopté les recommandations suivantes.

Le niveau effectif de bruit perçu, exprimé en E.PNdB ne doit pas dépasser les valeurs indiquées par le graphique de la figure 73, qui dépendent du poids de l'appareil et du point de mesure.

Les points de mesure sont les suivants :

- au décollage, à 6.500m du point de lâcher des freins et sous l'axe;
- à l'approche, à 2.000m du seuil de piste et sous l'axe;
- latéralement, à 650m de l'axe, au point où le niveau de bruit au décollage est maximal.

Ces limites s'appliquent à tous les avions subsoniques à turboréacteurs d'un poids supérieur à 5T,7, autres que les avions certifiés pour une longueur de piste inférieure ou égale à 450m; pour les appareils dont la demande de certification du prototype est antérieure au ler janvier 1969, elle ne s'applique que si le taux de dilution est supérieur ou égal à 2.

Pratiquement, la certification acoustique ne s'applique qu'aux nouveaux types d'appareils car il serait extrêmement coûteux de remplacer les moteurs en service par des moteurs permettant à tous les appareils anciens de respecter les niveaux de bruit qui ont été fixés. Toutefois, des discussions sont en cours pour rechercher les améliorations qui pourraient être apportées à la bruyance des appareils anciens.

6,22 - Procédures antibruit.

Sur de nombreux aérodromes, on a défini des procédures antibruit qui peuvent comporter l'obligation de suivre certaines trajectoires afin d'éviter le survol des agglomérations ou d'atteindre rapidement une altitude à partir de la-

quelle le bruit est acceptable. Les deux procédés peuvent être combinés.

En ce qui concerne le second procédé, permettant d'atteindre rapidement une altitude où le bruit est acceptable, il exige que la puissance des moteurs (donc le bruit émis) soit plus élevée, dans le segment à forte pente de montée, que si la pente de montée était normale mais la zone, au sol, touchée par ce bruit plus élevé sera moins étendue et sera souvent, en grande partie, à l'intérieur de l'aérodrome.

Par exemple, on pourra imposer à un quadriréacteur une procédure antibruit comportant, au décollage :

- une pente de montée de 8,6% jusqu'à ce qu'il atteigne une altitude de 300m au-dessus de l'aérodrome. Le niveau de bruit de l'avion, mesuré à 300m, sera, par exemple, de 120 PNdB sur ce segment.
- une pente de montée de 6,5% au-delà de l'altitude de 300m, la puissance étant alors réduite et le niveau de bruit limité, par exemple, à 114 PNdB, à 300m de distance.

Insonorisation des locaux.

Cette mesure, pour autant qu'elle soit appliquée aux locaux extérieurs à l'aérodrome, n'intéresse les services aéronautiques que par la réduction qui peut en résulter dans la virulence des réclamations des riverains et, aussi, par leur participation éventuelle aux dépenses correspondantes qui a été admise dans certains cas, notamment aux abords de l'aéroport de Londres-Heathrow.

Ecrans boisés

Des écrans boisés ont été envisagés car ils constituent un masque assez efficace contre la propagation des sons à haute fréquence. Il en a été réalisé, par exemple, à l'aéroport de Washington (Dulles), bien entendu dans les directions où les arbres respectent les servitudes aéronautiques de dégagement.

6,3 - Evaluation de la gêne due au bruit des avions aux abords des aérodromes.

6,31 Lors de la création ou de l'extension d'un aérodrome, il est nécessaire de pouvoir évaluer la gêne que le bruit produit par les aéronefs qui fréquenteront l'aérodrome causera aux voisins de celui-ci.

Il ne s'agit pas, ici, de déterminer si un avion donné respecte les normes de certification acoustique ou de mesurer le bruit causé au sol en un point donné pendant l'atterrissage ou le décollage d'un avion donné, mais de prévoir les conséquences probables, sur l'environnement, du bruit causé, dans l'avenir, par les appareils qui fréquenteront l'aérodrome.

Pour l'évaluation de la gêne due au bruit des avions on s'appuie principalement sur les travaux de Bolt, Beranek et Newman.

Ces auteurs ont étudié, en plus de l'influence du spectre d'un bruit, celles de sa durée. Il faut aussi tenir compte de sa répétition.

L'objectif poursuivi est de déterminer en chaque point du sol un indice qui donne le niveau de la gêne due au bruit (indice isopsophique). Le lieu des points où cet indice a même valeur s'appelle courbe isopsophique ou courbe d'égale gêne due au bruit.

On définit ensuite, en fonction de l'indice isopsophique les modes d'occupation du sol compatibles avec le niveau de gêne correspondant.

En fait, on ne retient, pour l'évaluation de la gêne due au bruit, que les trois principaux paramètres qui déterminent cette gêne, savoir :

- le niveau sonore du bruit,
- sa durée,
- le nombre de fois qu'il est subi dans un temps déterminé (en général pendant 24 heures ou encore pendant 16 heures de jour et 8 heures de nuit).

On verra plus loin que les deux premiers paramètres sont combinés entre eux pour déterminer le niveau de bruit qui est pris en compte dans le calcul de l'indice isopsophique.

Pour évaluer, en un point donné, autour d'un aérodrome, la gêne due au bruit, il faut connaître :

- les trajectoires suivies par les divers appareils fréquentant l'aérodrome,
- le bruit à la source de chaque type d'appareil et sa répartition par bandes de fréquences,

- la valeur des variables physiques intervenant dans le calcul de l'atténuation de ce bruit avec la distance,

- le nombre de passages quotidiens de chaque type d'appareil.

6,32 Trajectoires

Ces trajectoires résultant des procédures applicables à l'aérodrome considéré.

6,33 Bruit à la source

A faible distance d'un réacteur, le spectre du bruit émis par ce réacteur n'est pas le même dans toutes les directions (voir le tableau ci-joint). Les bruits de haute fréquence, produits par le compresseur, ont une bruyance maximale vers l'avant, dans un angle de 60° de part et d'autre de l'axe du réacteur. Les bruits de basse fréquence, produits par la sortie des gaz, ont une bruyance maximale vers l'arrière dans une direction faisant un angle d'environ 45° avec l'axe du réacteur.

Cette répartition des intensités de bruit, selon les fréquences, est à considérer dans certains problèmes de bruit, par exemple, lorsque l'on recherche le meilleur mode de stationnement des appareils sur l'aire de trafic.

Pour l'étude du bruit aux abords d'un aérodrome on ne tient pas compte, en général, de l'orientation de la direction de propagation du bruit par rapport à l'avion (ou au réacteur). On définit, en général, le bruit à la source en indiquant quel est, à 300m de l'avion supposé volant horizontalement à 300m d'altitude, le spectre du bruit causé par l'avion, c'est-à-dire la répartition de ce bruit par bandes de fréquences ainsi que le nombre de PNdB correspondant au bruit global. Le bruit qui correspond à une certaine tranche de fréquences peut être défini par son niveau exprimé en décibels ou par toute autre unité. Les courbes ou tableaux déjà mentionnés permettent de passer facilement d'une unité à une autre.

6,34 Atténuation avec la distance

La loi d'atténuation du bruit en fonction de la distance à la source est complexe et fait intervenir, outre cette distance :
- la fréquence (les bruits à haute fréquence s'atténuent beaucoup plus vite avec la distance que les bruits à basse fréquence),

Angle de la direction avec l'axe de l'appareil	Intensité du son mesurée en décibels								
	Par bandes de fréquences								Totale
Degrés	37,5-75	75-150	150-300	300-600	600-1200	1.200 - 2.400	2.400 - 4.800	4.800 - 9.600	
	A la puissance de démarrage au sol (28% de la puissance au décollage)								
0	83	87	90	94	95	103	103	100	108
30	83	87	9I	94	96	103	103	100	107
60	83	88	92	96	98	103	102	99	107
90	86	89	9I	94	95	96	96	95	102
I05	86	90	92	95	98	96	94	99	104
I20	89	95	98	99	101	98	93	96	106
I35	92	98	I00	I02	101	98	96	94	107
I50	93	93	94	95	95	92	91	95	103
	A la puissance de circulation au sol (6% de la puissance au décollage)								
0	75	77	80	85	94	94	91	83	98
30	75	78	80	84	90	90	88	82	95
60	75	82	8I	84	89	89	89	80	95
90	75	80	80	8I	84	8I	85	78	90
105	76	82	82	82	84	8I	88	8I	92
120	77	82	84	82	85	8I	90	82	93
135	77	83	86	79	83	8I	85	78	9I
150	77	82	82		8I	78	80	74	89

- la température de l'air,
- la pression atmosphérique,
- l'humidité de l'air,
- la direction et la vitesse du vent.

Des abaques ou des tableaux permettent de calculer l'atténuation en fonction de la distance, de la fréquence, de la température, de la pression et de l'humidité de l'air (voir figure 74 pour l'effet de la fréquence).

Sauf circonstances particulières, on ne tient pas compte de l'effet du vent.

Ces calculs sont assez longs. Fort heureusement ils ont pu être faits une fois pour toutes pour chaque type d'appareil, en tenant compte du spectre du bruit émis et en adoptant des conditions météorologiques normalisées (15°C, 70% d'humidité relative et une pression de 1013 mbs). Ceci permet de calculer très rapidement le niveau de bruit perçu en fonction de la distance, pour un type donné d'appareil et dans les conditions météorologiques normalisées.

6,35 Nombre de passages quotidiens de chaque type d'appareil.

Il faut connaître ce nombre pour chacune des trajectoires à considérer.

Une première question se pose : lorsqu'un aéronef suit une certaine trajectoire, le niveau de bruit perçu en un certain point du sol varie; il commence par croître, passe par un maximum puis décroît. Quel est le niveau de bruit à retenir pour la définition de la gêne ? On considère la durée qui s'écoule entre le moment où le niveau d'intensité acoustique atteint une valeur égale à sa valeur maximale diminuée de 10 décibels et celui où il s'abaisse à la même valeur et l'on calcule le niveau d'intensité acoustique constant qui mettrait en jeu la même énergie sonore pendant la même durée. C'est la valeur ainsi calculée pour chaque bande de fréquence qui sera retenue comme caractéristique du champ de bruit au point considéré. On constate que celà revient pratiquement à diminuer d'environ 4 dB le maximum mesuré dans chaque bande de fréquence.

En second lieu, le nombre des mouvements prévus sur chaque trajectoire permet de tenir compte de la répétition des périodes d'exposition au bruit.

Le trafic à prendre en compte est, non pas le trafic actuel de l'aérodrome, mais son trafic futur, à échéance de 10 à 15 ans. Il s'agit, en effet, d'évaluer la gêne future au voisinage de l'aérodrome afin de déterminer les modes d'utilisation du sol compatibles avec cette gêne. Il faut évidemment tenir compte non seulement de la gêne actuelle mais également de la gêne future.

De même, s'il existe des projets d'extension de l'aérodrome, tels qu'allongements de pistes ou construction de nouvelles pistes, il faut tenir compte du plan de masse futur de l'aérodrome et du mode d'utilisation futur des diverses pistes pour lequel il faudra faire des prévisions aussi vraisemblables que possible.

6,36 <u>Définition de l'indice de gêne (ou isopsophique) et prise en considération du nombre de mouvements</u>.

Lorsqu'on a combiné, en un point donné, les niveaux de gêne afférents à toutes les opérations d'aéronefs prévues (atterrissages, décollages, points fixes....) on obtient en ce point un nombre R, exprimé en PNdB, qui définit <u>par convention</u> la valeur de l'indice isopsophique au point considéré, dans l'hypothèse de la gêne maximale, c'est-à-dire d'un trafic continu.

Ce trafic continu est pris égal à 960 mouvements (atterrissage plus décollage) par journée de 16 heures.

Lorsque le nombre de mouvements est inférieur à 960 on retranche, de l'indice, une certaine quantité.

Pour faire le calcul, il faut considérer les diverses natures d'opérations et la durée totale T des opérations, d'une nature donnée qui correspond à un trafic continu. Si la durée réelle est de t, on diminuera le niveau de bruit perçu correspondant de $10 \log \frac{T}{t}$.

Dans le cas des atterrissages et décollages, on admet comme il est dit plus haut, que le trafic continu correspond à 960 mouvements. On remplacera donc le nombre N de décibels qui leur correspond par :

$\mathcal{N} = N - 10 \log \frac{960}{n}$, en appelant n le nombre de ces mouvements.

On a d'abord tenu compte du trafic de nuit (de 22 heures à 6 heures) en multipliant par 10 le nombre des mouvements correspondants. Actuellement, du moins pour un trafic de nuit, impprtant, on établit des courbes isopsophiques séparées pour

le trafic de jour et pour le trafic de nuit. Dans ce dernier, on donne d'ailleurs un poids plus élevé au trafic qui a lieu entre 22 heures et 2 heures.

En combinant les valeurs de $\mathcal{N}$ correspondant, en un point, aux diverses natures d'opérations prises en considération, on obtient l'indice isopsophique de ce point.

Le lieu géométrique des points pour lesquels cet indice a même valeur est une courbe isopsophique ou d'égale gêne.

6,37 Utilisation des courbes isopsophiques.

Parmi les diverses courbes isopsophiques tracées, on en retient principalement trois qui correspondent, en trafic de jour, aux indices (ou niveaux) 96, 89 et 84.

On définit ainsi quatre zones :

- une première zone A, située à l'intérieur de la courbe d'indice 96, où les seules constructions nouvelles admissibles sont celles qui abritent des activités liées à la proximité de l'aérodrome; ces constructions devront, autant que possible, être regroupées dans des zones aménagées à cet effet. Les bâtiments nécessaires aux exploitations agricoles sont admis à l'exception des logements. Les constructions autorisées devraient présenter une isolation acoustique d'au moins 42 dBA.

- une deuxième zone B, située entre les courbes d'indices 96 et 89, où les possibilités de construction devraient être limitées aux agglomérations de fait actuelles, sans extension et où l'implantation de bâtiments publics devrait être limitée à ceux qui sont indispensables à la vie des agglomérations actuelles. Les constructions à usage d'habitation, les bureaux, les commerces et les bâtiments recevant du public devraient présenter une isolation acoustique d'au moins 35 dBA.

- une troisième zone C, située entre les courbes d'indices 89 et 84, où la définition des zones urbaines pourra comporter une légère croissance des agglomérations de fait mais où la création d'ensembles immobiliers devrait être évitée au maximum. L'implantation de bâtiments publics (hôpitaux, lycées, écoles....) est à éviter dans cette zone. Une protection acoustique, à étudier cas par cas, y est recommandée pour toute construction publique ou privée.

- dans une quatrième zone, à l'extérieur de la courbe d'indice 84, aucune limitation due au bruit de l'aérodrome n'est imposée mais une certaine protection acoustique sera peut-être nécessaire, au voisinage de la zone C pour les constructions hospitalières ou scolaires.

Pour le trafic de nuit, on considère trois zones A', B' et C' pour lesquelles le mode d'occupation des sols est le même, respectivement, que celui des zones A, B et C mais qui sont limitées par des courbes isopsophiques d'indices plus faibles. L'indice de la courbe séparant les zones A' et B' est 69 et celui séparant les zones B' et C' est 63.

Il faut noter que la définition de ces zones par des valeurs de l'indice isopsophique ne saurait avoir une valeur absolue que, de par sa définition, l'indice lui-même n'a pas. Elle doit être considérée comme fixant, à l'usage des Services de la Construction, des règles générales utiles pour inspirer les mesures à prendre, mais dont l'application pourra comporter des exceptions, qui seront accordées dans des cas spéciaux et moyennant des obligations particulières à imposer, notamment quant aux conditions d'isolation. (Exemple des logements de fonction et des hôtels construits dans la même zone).

6,4 Méthodes de détermination des courbes isopsophiques.

6,41 Méthode de la Commission du bruit du S.G.A.C.

Cette méthode consiste à établir d'abord, pour un aérodrome type, des réseaux fondamentaux de courbes d'égal PNdB correspondant à un certain nombre d'opérations bien définies.

L'aérodrome type est constitué, en principe, par une piste unique horizontale sur un terrain parfaitement dégagé.

Les conditions météorologiques sont supposées être les suivantes : pression atmosphérique de 101325 mbs, vent nul, température de 15°C, humidité relative de 70%.

Les opérations à considérer sont :

- les atterrissages,
- les décollages,
- les points fixes,
- le roulement au sol,
- l'entretien.

Chacune de ces opérations donne lieu à l'établissement d'un réseau donnant des grandeurs définissant le bruit en chaque point.

Pour l'étude du bruit autour d'un aérodrome donné, on établit d'abord un certain nombre de <u>réseaux de base</u>, en général à partir des réseaux fondamentaux et en tenant compte des conditions particulières à l'aérodrome considéré :

- configuration de l'aire de manoeuvre, laquelle peut différer de celle de l'aérodrome-type,
- conditions météorologiques qui règnent sur l'aérodrome considéré,
- opérations réellement effectuées sur cet aérodrome.

Il est nécessaire de déterminer pour quelques types d'aéronefs représentatifs et pour chaque piste utilisable par ces aéronefs, au moins un réseau de base pour le décollage, un pour l'atterrissage et un pour la circulation au sol.

On peut être amené à déterminer, pour le décollage et pour chaque piste, plusieurs réseaux de base sir les trajectoires de décollage sont trop diverses pour pouvoir être remplacées par une trajectoire moyenne, Il peut en être de même à l'atterrissage.

Les <u>courbes isopsophiques</u> se déduisent des réseaux de base, en combinant les niveaux de bruit perçu indiqués par les réseaux de base et en tenant compte des données relatives au trafic.

En un point donné, le réseau de base afférent à une opération déterminée (par exemple le décollage d'un certain type d'avion sur une piste déterminée) fait connaître le niveau de bruit, par exemple le nombre N de PNdB en trafic continu. On corrige cette valeur, comme il est indiqué plus haut, pour tenir compte de la durée limitée du bruit, ce qui donne le nombre $\mathcal{N}$. En combinant ces nombres comme des niveaux d'intensité acoustique exprimés en décibels, on obtient le niveau ou indice de gêne au point considéré.

Les opérations décrites ci-dessus sont, en fait, simplifiées car l'addition de deux niveaux de bruit assez différents donne la prépondérance au plus haut de ces niveaux.

Le tracé des courbes isopsophiques se déduit des valeurs de l'indice de gêne en un nombre suffisant de points de l'aire considérée.

6,42 - Calcul des indices isopsophiques au moyen d'un ordinateur.

Le Service Technique des Bases Aériennes a mis au point un programme qui permet de calculer, au moyen d'un ordinateur, l'indice isopsophique pour un réseau de points au voisinage d'un aérodrome.

Ce mode de calcul a fait l'objet d'une notice explicative, en date d'août 1967, qui indique, notamment, les données à fournir et la forme dans laquelle elles doivent être présentées.

Les données demandées à l'autorité qui s'adresse au S.T.B.A pour le calcul des courbes isopsophiques concernent, d'une part, la nature et le volume du trafic et, d'autre part, les trajectoires des aéronefs et la répartition des vols suivant ces trajectoires.

a) Nature et volume du trafic.

Il faut indiquer :

- le volume annuel (atterrissages et décollages) constaté au cours des deux dernières années ainsi que le volume futur pour lequel le calcul doit être fait et qui doit tenir compte, notamment, des équipements à réaliser,
- la répartition du trafic par mois, entre les jours de la semaine, entre les diverses périodes de la journée (entre 6h et 22h - entre 22h et 2h - entre 2h et 6h),
- les types d'appareils utilisés et leur part, en pourcentage, dans le volume total de trafic.

b) Trajectoires

Il faut indiquer :

- le pourcentage d'utilisation des différentes pistes (s'il y a lieu) et de leurs Q F U,
- les trajectoires-types correspondant aux diverses procédures envisagées et aux divers types d'appareils.

Chaque trajectoire doit être définie avec précision jusqu'à l'altitude de 1 500m en indiquant, par exemple, pour les décollages,

- la distance de roulement au sol après le lâcher des freins,
- la pente de montée,
- lerégime de montée - l'existence éventuelle d'une post combustion,
- l'interruption (en lieu et altitude) de la post combustion ou la réduction de poussée,
- la nouvelle pente,
- le début du virage et son rayon en plan, etc...
- pour chaque segment de la trajectoire, les types d'avions correspondants, la nature du vol (atterrissage, décollage...) le nombre de vols de chaque type d'avions correspondant au segment de trajectoire considéré et leur répartition entre les diverses parties de la journée comme indiqué plus haut, le bruit à la source à 300m de distance.

L'ordinateur fournit la valeur de l'indice isopsophique pour un semis de points situés aux intersections d'un quadrillage de dimensions fixées à l'avance (par exemple, carré de 100m ou de 250m de côté). Un travail de cartographie permet d'en déduire les courbes isopsophiques elles-mêmes.

Des courbes isopsophiques ont été calculées pour des aérodromes-types de catégories A,B,C et D, à une seule piste, dans certaines hypothèses de trafic. Elles peuvent faciliter certaines études préalables d'avant-projets de plan de masse.

A titre d'exemple, on trouvera, ci-joint, les courbes isopsophiques relatives à deux cas d'aérodromes de catégorie B et à un cas d'aérodrome de catégorie C. (figures 75, 76 et 77).

Les trafics correspondant aux cas des figures 75, 76 et 77 sont les suivants :

Figure 75 - Aérodrome de catégorie B - Hypothèse basse.

Trafic journalier de pointe comportant 80 mouvements de moyen-courriers, soit 40 atterrissages et 40 décollages. Le volume annuel correspondant peut être évalué à 22.000 mouvements commerciaux, soit 1.400.000 passagers par an environ, avec les appareils actuels.

Figure 76 - Aérodrome de catégorie B - Hypothèse haute.

Trafic journalier de pointe comportant 152 mouvements de moyen-courriers, soit 76 atterrissages et 76 décollages. Le volume annuel correspondant peut être évalué à 40.000 mouvements commerciaux, soit 2.600.000 passagers environ, avec les appareils actuels.

Figure 77 - Aérodrome de catégorie C.

Le trafic journalier de pointe est supposé atteindre 300 mouvements se décomposant ainsi :

Biréacteurs légers	: 50 mouvements	(25 atterrissages (25 décollages
Bimoteurs	: 150 mouvements	(75 atterrissages (75 décollages
Monomoteurs	: 100 mouvements	(50 atterrissages (50 décollages

Le volume annuel correspondant peut être évalué à 80.000 ou 90.000 mouvements.

Dans les trois cas, on a supposé que le trafic nocturne est assez faible pour que la gêne de nuit soit inférieure à la gêne de jour.

CHAPITRE VII

AVANT-PROJETS DE PLAN DE MASSE

7,1 GENERALITES

Le plan de masse d'un aérodrome est un document de base qui détermine :

- les limites définitives de l'aérodrome,
- éventuellement les terrains à réserver pour des extensions ultérieures,
- l'implantation des pistes et bandes, voies de circulation, aires de stationnement,
- les éléments essentiels du réseau circulatoire, routier et ferroviaire,
- les ouvrages principaux des services généraux :
  réseaux d'eau et d'électricité, assainissement, transmissions, stockage des carburants, etc....
- les limites des zones affectées aux divers utilisateurs,
- à l'intérieur de ces zones, les principales installations à prévoir telles que :
  aérogare, gare de fret, services administratifs, hangars-abris, centres d'entretien.

Le plan de masse doit déterminer, pour une période aussi longue que possible, les conditions générales du développement des installations, en corrélation avec le développement du trafic.

Il est destiné à figurer dans les dossiers de classement, de déclaration d'utilité publique et de constitution de servitudes aériennes et, de façon plus générale, à servir de base aux divers textes réglementaires pouvant intéresser la création, l'extension ou l'exploitation de l'aérodrome.

On peut distinguer dans l'établissement d'un plan de masse deux étapes :

- des études aboutissant à l'avant-projet de plan de masse,
- des études de composition générale aboutissant à partir de cet avant-projet, au plan de masse lui-même.

Cette deuxième série d'études relève principalement de la compétence des architectes.

Nous nous limiterons ici à l'examen des questions intéressant l'avant-projet de plan de masse.

Celui-ci doit déterminer, sous réserve des mises au point auxquelles conduira l'étude du plan de masse :

- les limites d'emprise de l'aérodrome, existantes et à prévoir,
- l'implantation des axes et bandes d'envol,
- les contours des zones d'installations, en distinguant, s'il y a lieu, les zones civiles, militaires, industrielles, ainsi que les zones réservées à des besoins éventuels,
- les liaisons routières et ferroviaires avec les centres voisins,
- les dégagements.

L'avant-projet de plan de masse de l'aérodrome devra s'intégrer, aussi complètement que possible, aux dispositions prévues dans le plan directeur d'urbanisme, au même titre que la gare de chemin de fer, les grandes routes, les ports, etc...

Il est essentiel de noter que l'étude de l'avant-projet de plan de masse porte, à la fois, sur les dispositions générales de l'aménagement intérieur de l'aérodrome, et sur le détail des incidences que l'existence de l'aérodrome aura sur les propriétés privées et les ouvrages publics situés à l'extérieur de l'aérodrome.

Dans l'étude finale du plan de masse, les dispositions intérieures devront être précisées; par contre, si l'avant-projet a été bien étudié, il sera inutile de reprendre l'étude des répercussions sur l'extérieur de l'aérodrome.

Ceci est très important dans la détermination des services à consulter au cours de chacune des deux phases de l'étude.

Les études d'avant-projet de plan de masse reposent sur un certain nombre de données :

- catégorie de l'aérodrome,
- agglomération à desservir,
- s'il s'agit d'un aérodrome mixte, désignation des utilisateurs autres que l'aviation civile et de leurs besoins généraux.

Si l'aérodrome existe déjà, il faudra rechercher si l'emplacement actuel permet l'aménagement d'un aérodrome présentant les caractéristiques désirées.

S'il est nécessaire de construire entièrement un nouvel aérodrome, il faudra d'abord faire une étude très sommaire des divers emplacements possibles, ce qui permettra de retenir un ou deux emplacements qui donneront lieu à une étude détaillée d'avant-projet de plan de masse.

Ces études préliminaires doivent être poursuivies en liaison très étroite avec celles des services de l'urbanisme.

Une fois l'emplacement choisi, l'étude de l'avant-projet de plan de masse s'appuiera sur les principes et les règles exposés dans ce cours, complétés par une étude du trafic probable.

En principe, on adoptera pour le plan de masse, les dimensions de l'optimum de la catégorie considérée, toutes les fois que le site s'y prêtera.

Sans doute, les dimensions qui en résulteront serontelles presque toujours surabondantes pour les avions qui utiliseront initialement l'aérodrome. Mais il ne faut pas perdre de vue que le plan de masse doit être le plan de l'aérodrome dans son extension future maximale. Ceci est nécessaire pour que le plan de masse fasse ressortir si le site se prête à la construction et aux extensions de l'aérodrome et pour qu'il soit possible de procéder, suivant les indications de ce plan de masse, à l'institution de servitudes sur les futurs terrains d'assiette de l'aérodrome et sur les propriétés voisines de celui-ci; dans son extension maximale. Par contre, rien n'oblige à exécuter en une seule fois tous les travaux prévus au plan de masse. Il est normal, bien au contraire, que ces travaux soient exécutés par tranches successives, au fur et à mesure des besoins, l'exécution de chaque tranche étant entreprise assez tôt pour que les ouvrages qu'elle contient puissent être achevés et mis en service au moment où le trafic le nécessitera.

La figure 78 montre la présentation généralement adoptée pour un avant-projet de plan de masse.

7,2 EVALUATION DU TRAFIC

7,21 Généralités

Une évaluation du trafic probable est généralement nécessaire pour déterminer :

- le nombre de bandes d'envol à prévoir dans chaque direction d'envol retenue,
- la superficie nécessaire pour les aires de stationnement et les installations.

Cette évaluation présente de nombreuses difficultés, aussi est-elle toujours approximative et même, parfois, incertaine.

Il est bien évident que le transport aérien est soumis, comme les autres modes de transport, aux vicissitudes de la conjoncture économique.

Les incertitudes qui en résultent sont difficiles à prévoir à l'échéance qui est nécessaire pour des études de plan de masse qui doivent définir le développement probable pour des délais de 10 à 20 ans.

Il résulte d'ailleurs de cette observation que l'on peut négliger l'influence des variations à courte période de l'activité économique et rechercher seulement une loi de développement général.

Nous ne nous étendrons pas sur les méthodes d'évaluation du trafic futur d'un aérodrome car elles sont de la compétence des économistes. En France, les prévisions de trafic des aérodromes civils peuvent être demandées à la Direction des Transports Aériens ou au Service des Etudes Economiques et du Plan du Secrétariat Général à l'Aviation Civile.

Nous ne donnerons à leur sujet que quelques indications générales.

On peut chercher à évaluer le trafic futur d'un aérodrome soit d'une manière globale, par exemple en admettant un taux de développement général du transport aérien puis une certaine hypothèse de répartition de ce trafic entre les aéroports, soit en étudiant les diverses relations aériennes possibles à partir de cet aérodrome et en évaluant leur trafic futur.

Dans certaines études faites, en 1946, pour les aéroports de Paris et de Marseille, on avait admis que le trafic potentiel comprenait, non seulement le trafic réel, à cette date de 1946, mais encore un trafic virtuel égal à:

a) la totalité des voyageurs de 1ère classe et 25% des voyageurs de 2ème classe des gares desservant la même agglomération (N'oublions pas qu'à l'époque il y avait une troisième classe dans les chemins de fer français).

b) les pourcentages ci-après des transports maritimes :

	1ère et 2ème classes	3ème classe
- trajets sup. à 1.000km	100 %	25 %
- trajets inf. à 1.000km	50 %	12,5 %

Le total du trafic réel et du trafic virtuel donnait le trafic potentiel total à la date considérée. Il fallait ensuite trouver une loi de développement du trafic. A l'époque, on a admis que cette loi serait telle que le trafic potentiel serait multiplié, dans un délai d'une vingtaine d'années, par

10 pour la grande distance
6 pour la moyenne distance
4 pour le trafic intérieur.

Les évaluations faites sur ces bases se sont révélées très proches de la réalité mais, bien entendu, il faudrait se garder de les reconduire pendant les 20 années suivantes !

Des études très intéressantes ont été faites ces dernières années sur le trafic potentiel entre deux villes françaises (trafic intérieur).

On avait observé, depuis longtemps, qu'au delà d'une certaine distance, le trafic potentiel T entre deux agglomérations de populations P et P', distantes de D Km était sensiblement de la forme

$$T = K \frac{P \times P'}{D^n}$$

Pour les relations entre Paris et les grandes villes du monde, une étude statistique nous avait montré que l'on avait sensiblement n = 1,14.

On trouvera dans le numéro 136 de la Revue du S.G.A.C. -(15 Novembre 1969) une étude très intéressante de MM. Abraham, Directeur-adjoint des Transports Aériens, aumgart et Blanchet sur "un modèle de prévision du trafic intérieur".

Les auteurs de l'étude sont arrivés, pour le trafic potentiel T de 1967 entre deux villes de populations P et P', à la loi :

$$T = 73,3 \times I \times \left[PP'.10^{-6} \right]^{1,30}$$

I est une grandeur fonction de la distance entre les villes et qui est représentée par une courbe telle que celle de la figure 79.

L'exactitude de la formule ayant été vérifiée avec une bonne approximation, pour l'année 1967, il convient, évidemment, pour les évaluations de trafic futur d'appliquer une certaine loi de développement du trafic dépendant non seulement de l'accroissement des populations P et P' mais encore de facteurs économiques.

L'évaluation du trafic sur toutes les relations où, à partir d'une ville, le trafic potentiel justifie une desserte aérienne permet d'évaluer le trafic total de l'aéroport.

Ce modèle mathématique de la Direction des Transports Aériens donne de bons résultats surtout pour les relations dites d'affaires. Pour les aéroports à trafic touristique prédominant, des études complémentaires sont envisagées.

Il ne faut pas perdre de vue également que le caractère économique de l'agglomération a une incidence considérable sur son potentiel de transport aérien. C'est ainsi qu'aux Etats-Unis, on a établi que le trafic potentiel d'un centre commercial est 3 à 4 fois celui d'un centre industriel pur.

7,22 - Evaluation du trafic de pointe.

Quelle que soit la méthode employée pour l'évaluation du trafic, il faut, pour que ses résultats puissent servir de base à une étude d'avant-projet de plan de masse, qu'ils permettent d'adopter une "hypothèse de trafic" à

échéance de 20 ans au moins (et plus si possible) donnant au minimum les quantités suivantes :

- nombre annuel de passagers

  a) à longue distance;
  b) à moyenne distance;
  c) à courte distance.

- nombre annuel de tonnes de fret, selon la même décomposition;
- nombre annuel de tonnes de poste;
- nombre annuel de mouvements d'aviation générale

  a) de voyage;
  b) locaux;
  c) autres (travail aérien par exemple).

Il est bon, lorsque c'est possible, que ces renseignements soient complétés par des prévisions concernant le trafic de l'heure de pointe (en nombre de passagers et en mouvements), les types d'appareils, le pourcentage de fret transporté sur avions-cargos, etc... mais ce sera souvent difficile à l'échéance éloignée où il serait désirable de les avoir.

Pendant longtemps, on n'a pas attaché une importance considérable au fret dans le calcul du trafic de l'heure de pointe, considérant que le trafic de fret pourra toujours s'effectuer pendant les heures creuses du trafic de passagers. Il puurra en être différemment à l'avenir, si le fret se développe comme il est prévu.

Dans le cas général, où le trafic à long terme ne peut être évalué qu'en termes de trafic annuel on déduira le trafic horaire maximal du trafic annuel moyen, en admettant, pour le trafic de passagers, selon les indications de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Ariennes, que :

- le trafic quotidien maximal est égal à $\frac{100}{65}$ du trafic quotidien moyen
- le trafic horaire maximal est compris entre 1/6 et 1/8 du trafic quotidien maximal suivant que l'aérodrome est peu ou très fréquenté.

Le trafic horaire maximal est donc compris entre:

$\frac{1}{1.400}$ et $\frac{1}{1.900}$ fois le trafic annuel.

Ceci n'est vrai, toutefois, que si aucune raison particulière n'influe sur la répartition du trafic entre les divers jours de l'année.

C'est ainsi que sur les aérodromes à trafic saisonnier, tels que les aérodromes dont le trafic est constitué presque exclusivement par des touristes, le trafic horaire maximal pourra atteindre une fraction beaucoup plus grande du trafic annuel.

Il faut également tenir compte de l'étalement du trafic que l'on constate, en général, sur les aérodromes, lorsque leur trafic augmente. Ce phénomène, facile à comprendre, a fait l'objet, aux Etats-Unis, en 1960, de statistiques, dont les résultats les plus intéressants sont résumés dans les tableaux suivants (pour des aérodromes non saisonniers).

Aérodromes commerciaux. Mouvements de toutes natures.

Type d'Aéroport		Pourcentage moyen du nombre total de mouvements par :	
Groupe	Nombre total annuel de mouvements	Jour de pointe	Heure de pointe
I	100.000 et plus	0,442	0,039
II	50.000 à 99.999	0,494	0,057
III	25.000 à 49.999	0,586	0,077
IV	10.000 à 24.999	0,685	0,109
V	moins de 10.000	0,780	0,154

Aérodromes commerciaux - Mouvements commerciaux seulement

Type d'aéroport Groupe	Pourcentage moyen du nombre de mouvements commerciaux par	
	Jour de pointe	Heure de pointe
I	0,354	0,028
II	0,359	0,039
III	0,356	0,045
IV	0,386	0,059
V	0,450	0,088

Si l'on exprime sous la même forme les indications données plus haut, de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes, on voit que ces indications reviennent à prendre :

- Comme trafic du jour de pointe: $\frac{100}{65} \times \frac{1}{365}$ ou 0,42 % du trafic annuel

- Comme trafic horaire de pointe :

entre $\frac{100}{65} \times \frac{1}{365} \times \frac{1}{6}$ et $\frac{100}{65} \times \frac{1}{365} \times \frac{1}{8}$ ou 0,052 à 0,07 % du trafic annuel

S'agissant uniquement de trafic commercial, on peut dire que ces pourcentages sont confirmés par les statistiques américaines pour ce qui concerne des aéroports à faible trafic, mais qu'ils pourraient être quelque peu diminués pour les aéroports à trafic moyen ou élevé. C'est ainsi que, pour l'aéroport d'Orly, en 1960, le nombre total de mouvements a été de 75.177, ce qui le placerait dans le groupe II des statistiques américaines et le nombre de mouvements en heure de pointe a été de 0,0304 % du nombre total annuel de mouvements.

Connaissant le nombre de passagers embarqués ou débarqués pendant l'heure de pointe, on en déduit le nombre maximal de mouvements à l'heure en fonction du nombre moyen de passagers débarqués ou embarqués à l'aéroport, par appareil.

Les chiffres à adopter sont très différents selon qu'il s'agit d'un aéroport terminal ou d'une escale intermédiaire.

Pour un aéroport terminal, on supposera que la totalité des passagers est débarquée ou embarquée. Pour calculer le nombre de mouvements, il faut donc faire des hypothèses sur la répartition du trafic entre grande distance, moyenne distance et courte distance, sur la capacité des appareils et sur le coefficient de remplissage.

L'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes indique que l'on admet une capacité moyenne des avions égale à 70 passagers pour les grandes lignes, 50 pour les lignes moyennes et 25 pour les lignes intérieures; et un coefficient moyen de remplissage de 75 %.

Ces chiffres sont devenus trop faibles pour les capacités et trop élevés pour le coefficient de remplissage.

Dans des études faites vers 1960 pour l'aéroport d'Orly, on a adopté les chiffres suivants :

Capacités		
longs courriers	135	passagers
moyens courriers	84	"
lignes intérieures	60	"
Coefficient de remplissage :	66 %	

On serait certainement amené, maintenant, à relever encore les capacités. C'est ainsi que, pour les études de l'aéroport de Lyon-Satolas, on a admis que le nombre moyen de passagers par avion serait de 80 en 1980 et de 104 vers 1992 et qu'il pourrait atteindre, à l'heure de pointe, où le coefficient de remplissage est plus élevé, 88 en 1980 et 114 vers 1992 (il s'agit principalement de trafic à courte ou à moyenne distance).

Pour une escale intermédiaire, le nombre de passagers embarqués ou débarqués sera, en général, beaucoup plus faible. On ne peut donner de règle générale à ce sujet. Une étude de chaque cas particulier sera nécessaire.

Pour l'évaluation du nombre des mouvements correspondant au trafic de fret, il faudra faire une hypothèse sur le pourcentage de fret qui sera transporté dans les soutes des avions à passagers, d'où on aura, par différence, le fret transporté par avions-cargos. Il faudra, ensuite faire une hypothèse sur la capacité moyenne des avions-cargos.

Pour l'aéroport de Lyon-Satolas, on a admis qu'en 1980, seulement 22% du fret serait transporté par des avions-cargos d'une capacité moyenne de 20 tonnes.

7,3 NOMBRE DE BANDES PAR DIRECTION D'ENVOL

Le nombre maximal de mouvements horaires permet de déterminer le nombre de bandes à prévoir pour chaque direction d'envol, ces directions étant déjà déterminées, notamment par la considération du coefficient d'utilisation, des dégagements, du relief du sol et de la possibilité d'implanter les aides à la navigation estimées nécessaires.

Il faut, pour cela, connaître la capacité des pistes, c'est-à-dire le nombre maximal des mouvements qu'elles

peuvent accepter (un mouvement = un atterrissage <u>ou</u> un décollage).

D'après l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes, on admet que :

a) <u>pour les opérations à vue</u> :

- une piste spécialisée, c'est-à-dire affectée uniquement aux atterrissages ou aux décollages permet 60 mouvements à l'heure,
- une piste non spécialisée permet 40 mouvements à l'heure.

b) <u>pour les opérations aux instruments</u> :

- une piste spécialisée permet soit 30 atterrissages, soit 60 décollages à l'heure.
- une piste non spécialisée permet 40 mouvements à l'heure en moyenne, à condition que ces mouvements soient ordonnés convenablement.

<u>Exemple</u> : Pour 120 mouvements horaires, sur un aérodrome où sont prévues des opérations aux instruments, il faut réserver :

a) dans la ou les directions d'atterrissage aux instruments, trois pistes, à savoir : deux pour l'atterrissage qui pourront absorber 30 + 30 = 60 mouvements, et une pour le décollage,

b) dans les autres directions, deux pistes qui, si elles sont spécialisées, une pour l'atterrissage et l'autre pour le décollage, pourront absorber jusqu'à 60 + 60 = 120 mouvements.

Des études récentes ont montré que la question est plus complexe que pourrait le faire supposer le calcul précédent.

En effet, donner un chiffre pour la capacité d'une piste ou, plus généralement d'un aérodrome, n'a de sens que si l'on indique, en même temps, la durée de l'attente considérée comme acceptable.

La FAA admet un délai moyen d'attente de 4' pendant les deux heures les plus chargées. Ce délai est ramené à 2' pour une piste utilisée uniquement par des avions légers.

Le délai d'attente moyen de 4' est justifié, en particulier, par le fait qu'au delà de ce délai la capacité de la piste augmente très peu, au maximum d'environ 10%.

La capacité d'une piste ou d'un système de pistes dépend encore d'autres facteurs, à savoir :

- la "population" des appareils fréquentant la piste ou le système de pistes, c'est-à-dire la proportion des divers types d'appareils (long-courriers à réaction, biréacteurs .....) contenue dans le trafic total; les appareils sont répartis, de ce point de vue, en cinq groupes ;

- le pourcentage de "touch and go" effectués par les avions légers ou les avions de ligne en entraînement;

- l'équipement des pistes et les procédures d'approche. Les chiffres les plus élevés supposent un contrôle radar des mouvements et le contrôle de la vitesse d'approche;

- le rapport $\frac{\text{nombre des arrivées}}{\text{nombre des départs}}$;

- le nombre et la nature des sorties de piste.

Par exemple, pour une piste simple, en VFR, en supposant que le nombre des arrivées est égal au nombre des départs, la capacité varie de 34 à 107 selon la population et les sorties de pistes; en IFR, elle varie de 37 à 53.

Les chiffres de l'Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes supposent une population élevée d'avions long et moyen-courriers

7,4 DIFFERENTS TYPES D'AVANT PROJETS DE PLANS DE MASSE.

La combinaison des différences provenant des qualités naturelles du site, des conditions météorologiques, de la nature du trafic (classe de l'aérodrome) et de l'intensité du trafic, conduit à des plans de masse extrêmement divers.

Sans prétendre passer en revue tous les cas possibles, nous croyons utile de signaler un certain nombre de types qui répondent aux données les plus fréquentes, compte tenu de la technique actuelle.

7,41 Aérodromes à pistes simples

C'est le cas le plus général. Il est de règle lorsque le trafic prévu peut être absorbé par une piste unique. Après avoir déterminé, compte tenu des dispositions du site, des dégagements et du régime des vents, les directions d'atterris-

sage et d'envol, on prévoit unepiste dans chacune de ces directions.

Les installations sont groupées dans les angles morts des trouées.

On aboutit à un type d'aérodrome tel que celui que représente la figure 80 ci-dessous. On peut souvent se contenter de deux directions d'envol pour les terrains de catégories B et C (exemple: POITIERS).

Il arrive que l'on soit amené à prévoir le doublement d'une piste même si le trafic ne l'exige pas : c'est le cas de certains aérodromes pour lesquels un coefficient d'utilisation suffisant est obtenu avec une seule piste.

On prévoit parfois son doublement pour des raisons de sécurité en prévision d'une indisponibilité de la piste unique par suite d'un accident ou de travaux (exemple : MARSEILLE-MARIGNANE).

Dans le cas de deux pistes, il y aura intérêt à les disposer de telle sorte que, si la direction et la force du vent le permettent, on puisse effectuer les atterrissages sur l'une et les décollages sur l'autre (voir figure 81).

7,42 Aérodromes à pistes parallèles

7,421 Pistes doubles ordinaires.

Lorsque le trafic est tel que l'on doive prévoir au moins deux pistes par direction, on se contente généralement de doubler les pistes en prévoyant que l'une sera spécialisée dans les atterrissages et l'autre dans les décollages et on adopte un espacement d'axe en axe des pistes au moins égal à 200 ou à 900m (ou de préférence 1.050m) suivant que les opérations seront effectuées à vue ou aux instruments.

JIl suffira souvent de ne doubler qu'une direction, celle qui est utilisée pour les atterrissages aux instruments.

On aboutit à un schéma du type de celui de la fig. 82. (Exemple : BORDEAUX-MERIGNAC).

Si les dispositions des lieux s'y prêtent, dans le cas d'un aérodrome important, on aura intérêt à placer la zone d'installations entre les deux pistes principales parallèles en écartant celles-ci de 1.500m au moins, d'axe en axe (figure 83). On aura ainsi vraisemblablement la possibilité de

prévoir des atterrissages simultanés avec opérations aux instruments. Exemple : PARIS-ORLY, LONDRES, NEW-YORK, WASHINGTON.

Si deux directions d'atterrissage et d'envol sont nécessaires, on pourrait être tenté d'adopter la même disposition pour la direction secondaire. Ceci aurait toutefois l'inconvénient d'enfermer la zone d'installations dans le quadrilatère formé par les pistes ce qui n'aurait pas un grand inconvénient pour les circulations terrestres que l'on peut toujours faire passer sous les pistes, mais gênerait la circulation des hélicoptères ou avions STOL qui desserviraient la zone centrale et dont les circuits en vol sont différents de ceux des avions utilisant les pistes. Aussi, en pareil cas, préfère-t-on une implantation des pistes telle que celle de la figure 84. (Exemples : NEW-YORK/KENNEDY, WASHINGTON/DULLES)

7,422 <u>Pistes doubles en baïonnette.</u>

Un des inconvénients que présente le doublement des pistes d'un seul côté de la zone d'installations est la sujétion que présente pour les avions utilisant la piste la plus éloignée la traversée de la piste la plus rapprochée soit lorsqu'ils vont prendre le départ, soit lorsqu'ils atterrissent.

On pallie cet inconvénient, soit en plaçant les installations entre les deux bandes comme nous venons de le voir (fig. 83) soit en décalant les pistes suivant le tracé dit, en baïonnette (voir fig.85).

On voit que les mouvements sont alors indépendants quel que soit le sens du vent.

L'inconvénient de ce dernier système est qu'il nécessite un grand développement de la plate-forme. Or, à l'atterrissage, les avions peuvent généralement dégager la piste avant d'en avoir atteint l'extrêmité.

Aussi, lorsqu'un sens d'atterrissage est prépondérant, est-il recommandé d'adopter un décalage moins accentué des deux pistes et de réaliser une disposition telle que celle de la fig. 86.

On estime que le débit de deux pistes en baïonnette est supérieur d'environ 10% au débit de 2 pistes parallèles ordinaires.

7,423 - On a préconisé récemment la "piste à deux couloirs" pour augmenter le débit d'une piste unique. (figure 87). Elle consiste en deux pistes dépendantes parallèles rappro-

chées (environ 200m l'une de l'autre). La piste du haut de la figure est équipée de sorties à grande vitesse et est utilisée pour les arrivées. La piste du bas est destinée aux départs qui peuvent être autorisés dès que l'avion atterrissant a touché le sol. Les avions au départ circulant au sol peuvent traverser la piste d'atterrissage par groupes intercalés entre les atterrissages. On espère arriver à des débits importants avec ce système de pistes moyennant l'application des techniques les plus modernes de contrôle de la circulation aérienne. Toutefois, dans tous les cas où le site le permet, il sera préférable d'adopter, pour les deux pistes, un espacement de 1.500m.

7,424 <u>Pistes multiples</u>

Il peut arriver, sur de très grands aéroports, qu'il soit nécessaire de prévoir trois pistes parallèles pour les opérations aux instruments: 1 pour les décollages et 2 pour les atterrissages.

Il faut alors espacer ces deux dernières d'au moins 1.500m. Une disposition possible est celle de la fig. 88 (Exemple: ORLY ancien, schéma parallèle).

On peut même envisager plus de trois pistes parallèles. C'est ainsi que le schéma d'implantation des pistes de Roissy-en-France, dans la direction principale est celui de la figure 89.

7,43 <u>Pistes tangentielles.</u>

On a cru trouver une solution théorique parfaite du problème des atterrissages aux instruments simultanés et indépendants sur plusieurs pistes par le schéma à pistes tangentielles.

Ce système consiste (voir figure 90) à grouper autour d'une aire centrale, 12 pistes faisant entre elles des angles de 30° et, par conséquent, parallèles 2 à 2.

Pour un vent de direction telle que V parallèle aux pistes 1,7 on pourra utiliser à l'atterrissage les pistes 12, 1 et 2 et, au décollage les pistes 6, 7 et 8.

Les positions d'attente situées dans le prolongement des pistes 12, 1 et 2 sont assez éloignées les unes des autres puisque ces pistes divergent.

D'autre part, le débit théorique du système, puisque les pistes sont spécialisées, est de 6 x 60 = 360 mouvements

à l'heure par temps clair, soit un mouvement toutes les 10 secondes. Il pourrait même atteindre 12 x 60 = 720 mouvements à l'heure par temps calme.

Les inconvénients du système sont les suivants :

a) Si un appareil manque son atterrissage, il risque de rencontrer l'appareil qui atterrit sur la piste voisine, car les axes de ces deux pistes se coupent très près de leurs extrêmités.

b) Les mouvements au sol sont longs, car tout appareil qui atterrit doit parcourir la longueur totale de la piste avant d'atteindre l'aire centrale.

c) Le débit important possible est purement théorique, car il est extrêmement douteux que le contrôle local puisse diriger les mouvements de 360 appareils en une heure.

7,44 Pistes quasi-parallèles

Compte tenu des inconvénients du système tangentiel, on a parfois préconisé le système des pistes quasi-parallèles qui repose sur les principes suivants :

On limite à 2 au lieu de 3, le nombre de pistes à utiliser simultanément à l'atterrissage et on se contente de donner à ces pistes un angle d'environ 15°, ce qui, moyennant un écartement de 1.500 à 1.800m entre les centres des pistes, donne un écartement satisfaisant des positions d'attente.

Les dispositions sont schématisées par la figure 9D.

Les pistes A et B sont utilisées pour l'atterrissage.

En cas d'atterrissage manqué sur l'une d'elles, le risque de collision avec un avion atterrissant sur l'autre est négligeable car les axes des deux pistes se recoupent très loin de leurs extrêmités.

On n'a prévu qu'une seule piste pour le décollage, car le débit d'une piste spécialisée pour le décollage est au moins double de celui d'une piste spécialisée à l'atterrissage, lorsque les opérations se font aux instruments.

La disposition des pistes selon le schéma quasi-parallèle n'a plus d'intérêt après les progrès accomplis dans le contrôle de la circulation aérienne.

7,45 Pistes en V ouvert

Il est parfois possible d'éviter le doublement des pistes lorsque l'étude du régime des vents a conduit à prévoir au moins deux directions d'envol, en disposant deux pistes en forme de V ouvert, comme l'indique la figure 92.

En effet, sauf par vents de travers très violents, on pourra généralement utiliser une piste pour l'atterrissage et l'autre pour le décollage sans risque d'interférence entre les mouvements relatifs à chaque piste puisque les trajectoires correspondantes ne se croisent pas.

D'autre part, le fait que les pistes sont en V et non parallèles permet d'augmenter le coefficient d'utilisation.

Ce schéma présente toutefois deux inconvénients :

a) par certains régimes de vents violents une seule piste est disponible, ce qui diminue la capacité de l'aérodrome. Cet inconvénient est mineur car cette circonstance se présente rarement,sauf régime de vents exceptionnels,

b) les circulations au sol sont plus longues que dans le cas de schémas plus concentrés.

7,46 Pistes circulaires

Nous ne citerons ce schéma que pour mémoire.

Après des essais effectués par l'US NAVY sur un autodrome circulaire, il a été estimé par certains qu'une solution satisfaisante du problème de l'implantation des pistes serait donnée par une piste circulaire, d'environ 3 km de diamètre, avec dévers progressif vers l'extérieur, permettant d'atterrir quelle que soit la direction du vent. Il semble que cette solution pose plus de problèmes qu'elle n'en résout.

7,5 CONSEILS POUR L'ETUDE D'UN AVANT-PROJET DE PLAN DE MASSE.

Les données de l'étude, ou encore selon la terminologie habituelle, les besoins à satisfaire, sont supposés définis.

On supposera aussi que l'on dispose :
- d'un plan à courbes de niveau de l'emplacement retenu, en principe, à l'échelle de 1/10.000°;
- des relevés météorologiques, y compris ceux relatifs aux conditions de mauvaise visibilité.

Il n'existe pas, en vérité, de méthode d'étude rigoureuse d'un avant-projet de plan de masse. On peut énumérer un grand nombre d'éléments dont l'auteur du projet doit tenir compte. M is l'importance de ces divers éléments est variable selon le site et les autres données du projet.

On peut citer parmi les principaux :

1°) le coefficient d'utilisation,
2°) le relief du site adopté et la possibilité d'y implanter les bandes d'envol et les zones d'installations de manière satisfaisante,
3°) les dégagements,
4°) les liaisons routières,
5°) la gêne causée à l'habitat par la circulation aérienne,
6°) les conditions d'installation et d'utilisation des aides visuelles et non visuelles (ILS, lignes d'approche,etc...),
7°) la nature du sol et la possibilité d'y construire, sans dépense exagérée,les pistes, aires de stationnement et bâtiments, voies de circulation.

Les divers facteurs 2°) à 7°) seront examinés à la fois du point de vue des conditions d'utilisation et du point de vue des dépenses.

Il est impossible de dire, à priori, quel sera le facteur prépondérant.

La solution qui sera finalement retenue aura le plus souvent le caractère d'un compromis.

D'une manière générale, on peut toutefois recommander la méthode d'examen suivante :

a) procéder à une étude générale du régime météorologique et du coefficient d'utilisation. On en déduira le système de directions d'envol le plus avantageux, du point de vue du coefficient d'utilisation.

b) confronter ce système de directions d'envol avec :

- les directions donnant les meilleurs dégagements,
- les directions selon lesquelles le relief du sol permet d'aménager des bandes d'envol de longueur suffisante.

Cette confrontation conduira généralement à une première mise au point.

c) s'assurer que les axes d'atterrissage et d'envol ne passent pas à une distance gênante des agglomérations.

Pour bien faire, il faut, à cet effet, dessiner les courbes isopsophiques relatives au trafic pour lequel l'aérodrome est étudié (trafic futur) et voir si les modes d'utilisation des sols indiqués au paragraphe 6,37 ci-dessus peuvent être respectés. A défaut de courbes isopsophiques tracées en fonction du trafic futur prévisible de l'aérodrome, tracé qui nécessite un assez long travail, on pourra s'inspirer des courbes-types tracées par le S.T.B.A. dans un certain nombre de cas particuliers, courbes-types dont les figures 75, 76 et 77 donnent trois exemples, et parmi lesquelles on choisira celle qui est relative à un trafic aussi proche que possible de celui pour lequel l'aérodrome est étudié.

d) vérifier, après la mise au point précédente, que le coefficient d'utilisation est encore acceptable. Analyser les conditions de la mauvaise visibilité et l'atterrissage aux instruments.

e) vérifier que l'implantation des aides à l'approche et à l'atterrissage peut se faire sans difficulté, éventuellement s'assurer que la circulation d'aérodrome n'interfère pas avec celle de certains aérodromes voisins.

f) étudier l'implantation des zones d'installations. S'assurer qu'il existe un dégagement suffisant, en arrière du front des installations. Ce dégagement est variable suivant l'importance du trafic et selon la classe de l'aérodrome. On peut considérer que, pour un aérodrome de catégorie B d'activité moyenne, il faut réserver un dégagement minimum d'environ 200m à partir du front des installations et que l'espace disponible ne doit, en aucun cas, même pour un aérodrome de catégorie D, descendre en dessous de 50m.

Les dimensions exactes à adopter résulteront des études du plan de masse proprement dit mais il est bon d'étudier un schéma des installations à prévoir pour le trafic pour lequel l'aérodrome est étudié, afin de s'assurer que le front des installationsprévu à l'avant-projet de plan de masse a une longueur suffisante.

On étudiera enfin les relations entre les zones d'installations et les pistes, la circulation des avions au sol et la desserte routière des installations.

Il sera bon d'établir quelques schémas de circulation au sol des avions pour s'assurer que ces mouvements pourront s'effectuer par des circuits simples, dans toutes les hypothèses d'exploitation.

ANNEXE I

DOCUMENTATION

- Instruction sur l'Aménagement des Bases et des Routes Aériennes - Première partie - 2ème édition approuvée le 27 Janvier 1956. Modifiée par Circulaires n° 971 SGACC/CAB. du 28 Juillet 1959 et AC. n°6 DBA du 5 Novembre 1968.
- Annexe 14 à la convention relative à l'Aviation Civile Internationale - 5ème édition - Mai 1969.
- Cinquième conférence de Navigation Aérienne de l'O.A.C.I. - Rapport (14 nov. - 15 déc. 1967).
- Division des aérodromes. Routes aériennes et installations au sol de l'O.A.C.I. Rapport de la Sixième Session (12 Mars-15 Avril 1957) - Deux volumes.
- Rapport de la septième session (13 Novembre - 14 Décembre 1962).
- Groupe d'Experts de l'O.A.C.I. sur les besoins de l'exploitation des avions à réaction - Rapport de la 3ème session (17-28 Juin 1957) - deux volumes.
- Manuel sur les aérodromes publié par l'O.A.C.I.(Doc.7920-AN/865.
- Conception, construction et gestion des aérodromes par Mr G.MEUNIER, Directeur des Bases Aériennes - Eyrolles 1969.
- I.A.T.A. - Major Airport and Terminal area Problems - Conférence de Lucerne (9-14 Octobre 1967). Deux volumes. Installations aéroportuaires - 4° édition - (1966).
- "Airport Capacity Handbook, Second Edition" - Airborne Instruments Laboratory, Melville, N/Y.-FAA/SRDS Report RD-68-14 June 1969.
- Publications de la F.A.A. (Etats-Unis) - Airport Planing Airport Design,etc.....
- Circulaires de l'O.A.C.I.
  Circulaire 15 - AN/2 - Influence des conditions atmosphériques d'humidité et de température sur la puissance des moteurs et les performances au décollage d'un avion Hastings I.
- Revue Travaux - Numéros spéciaux sur les Bases Aériennes (Mars 1959 - Juin 1965 - Novembre 1969 - Février 1970).